



Biodiversité
Agriculture
Alimentation
Environnement
Terre
Eau



La modélisation écologique pour la gestion des populations de locustes

Soutenance pour l'habilitation à diriger des recherches

15 avril 2022

Cyril Piou

Devant le Jury constitué de:

Annelise Tran, Cirad, Montpellier, Examinatrice

Elodie Vercken, INRAE, Sophia-Antipolis, Examinatrice

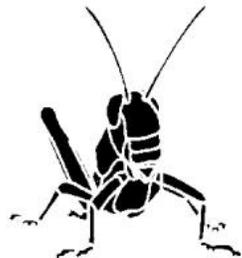
Guy Theraulaz, CNRS, Toulouse, Examineur

Olivier Gimenez, CNRS, Montpellier, Rapporteur & Président

Raphaël Duboz, Cirad, Dakar, Examineur

Sébastien Ibanez, Univ. Savoie Mont-Blanc, Rapporteur

Thibaud Monnin, CNRS, Paris, Rapporteur





Introduction

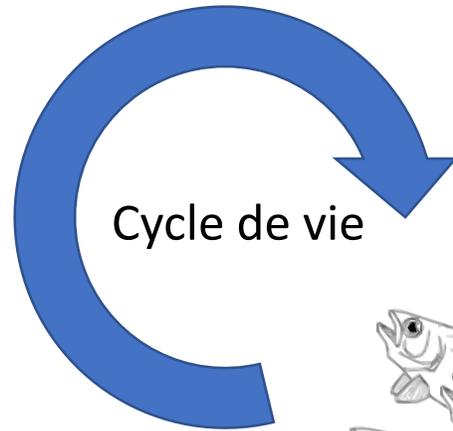
La modélisation pour l'écologie des populations

Les problématiques posées par les locustes

La modélisation pour l'écologie des populations

- Dynamiques & écologie des populations

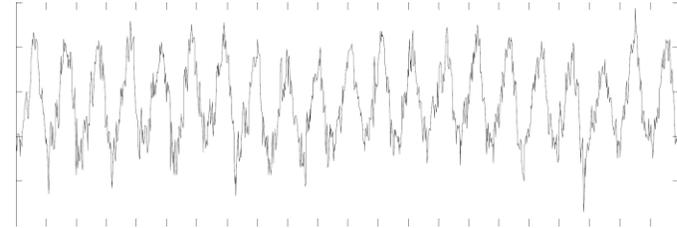
Facteurs intrinsèques



Biologie
Comportement



Population = 1 espèce, 1 « lieu »

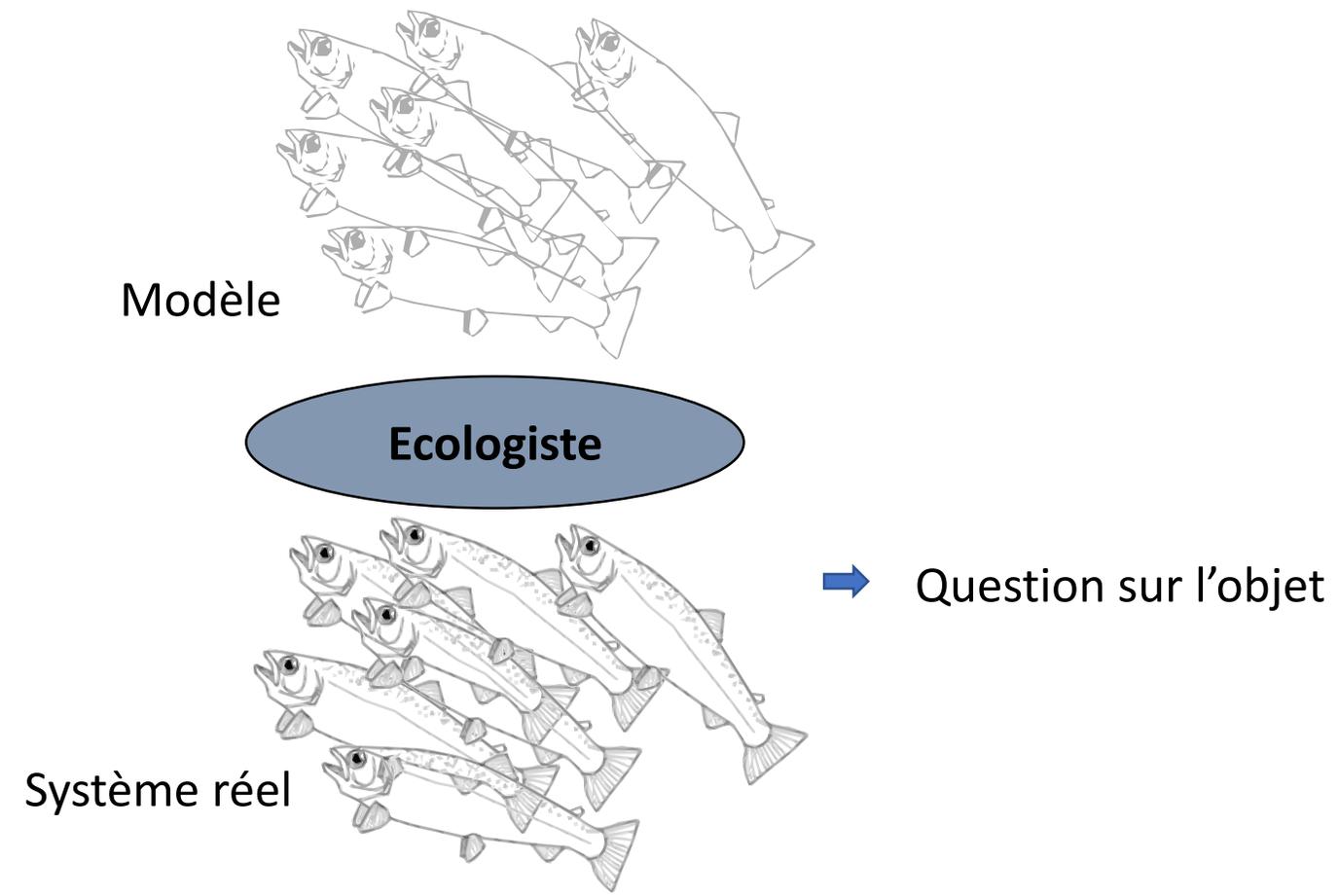


Facteurs extrinsèques

biotiques (prédateurs, proies, etc.)
et abiotiques (température,
salinité...)

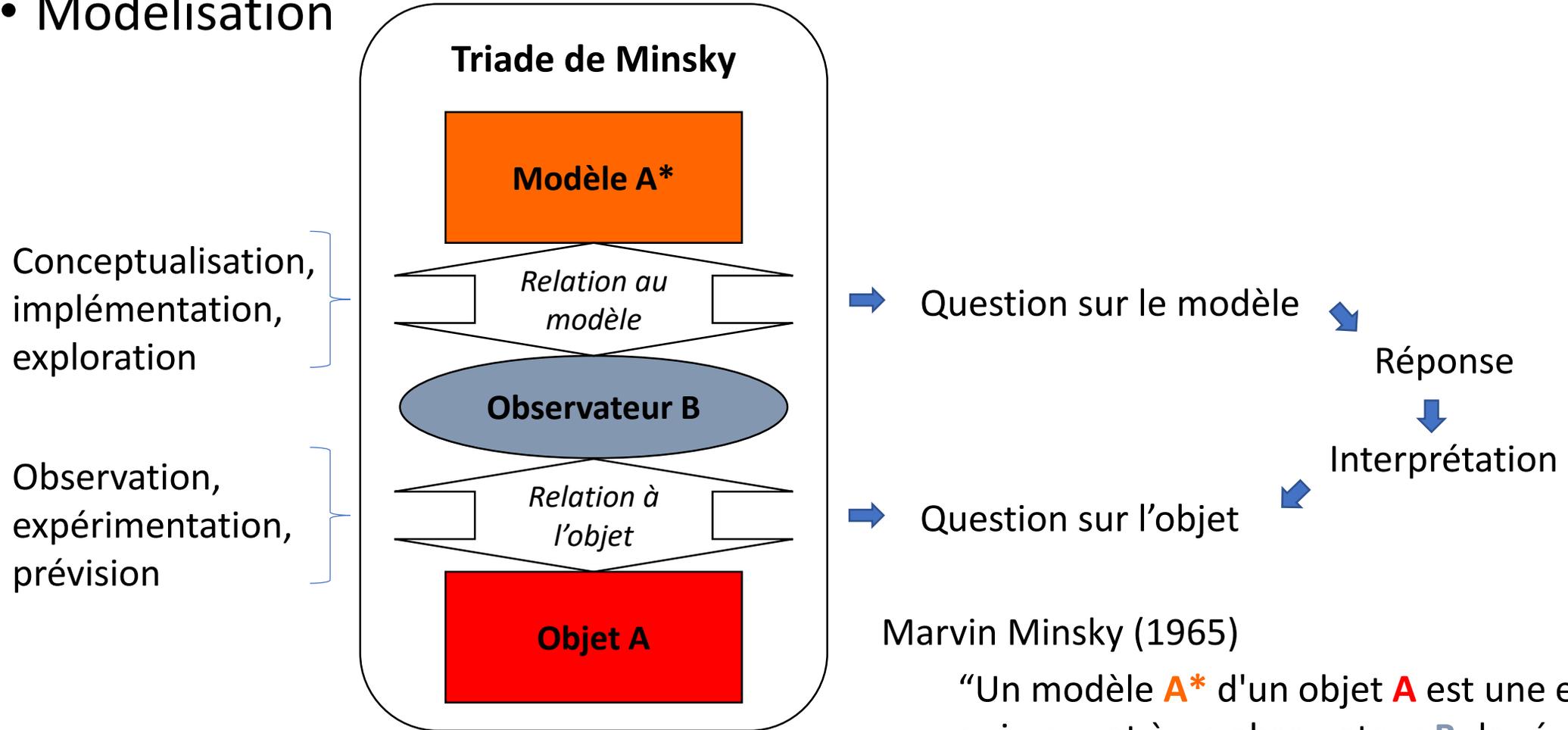
La modélisation pour l'écologie des populations

- Modélisation



La modélisation pour l'écologie des populations

- Modélisation



Marvin Minsky (1965)

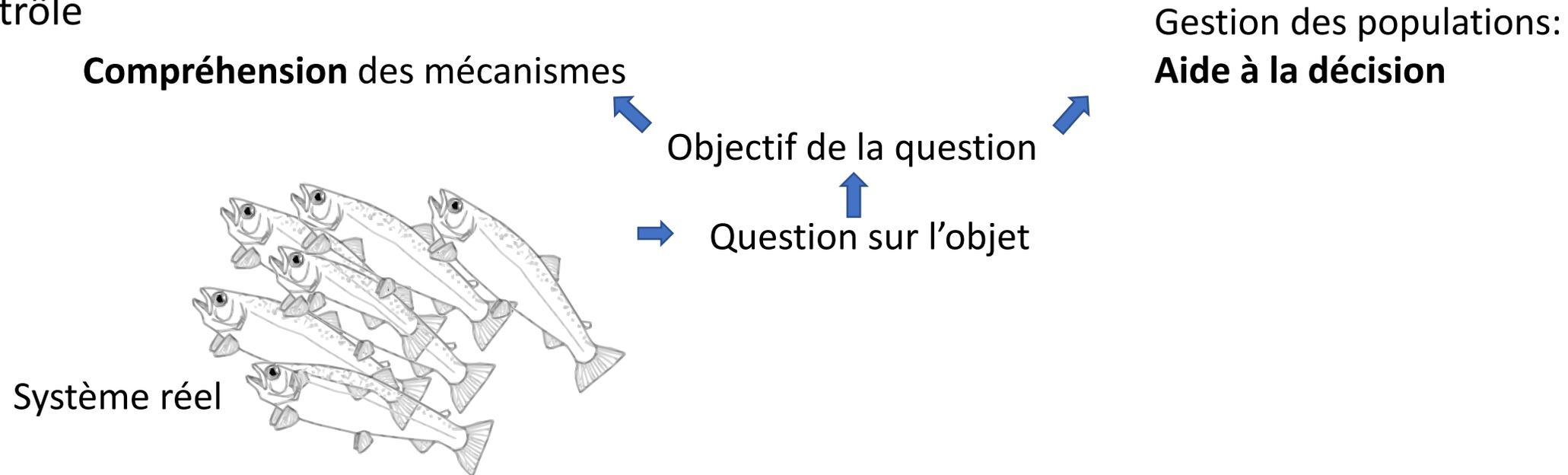
“Un modèle **A*** d'un objet **A** est une entité qui permet à un observateur **B** de répondre à une question sur **A**”

La modélisation pour l'écologie des populations

- Objectifs de modélisation

Questions de:

- Compréhension
- Conservation
- Exploitation
- Contrôle

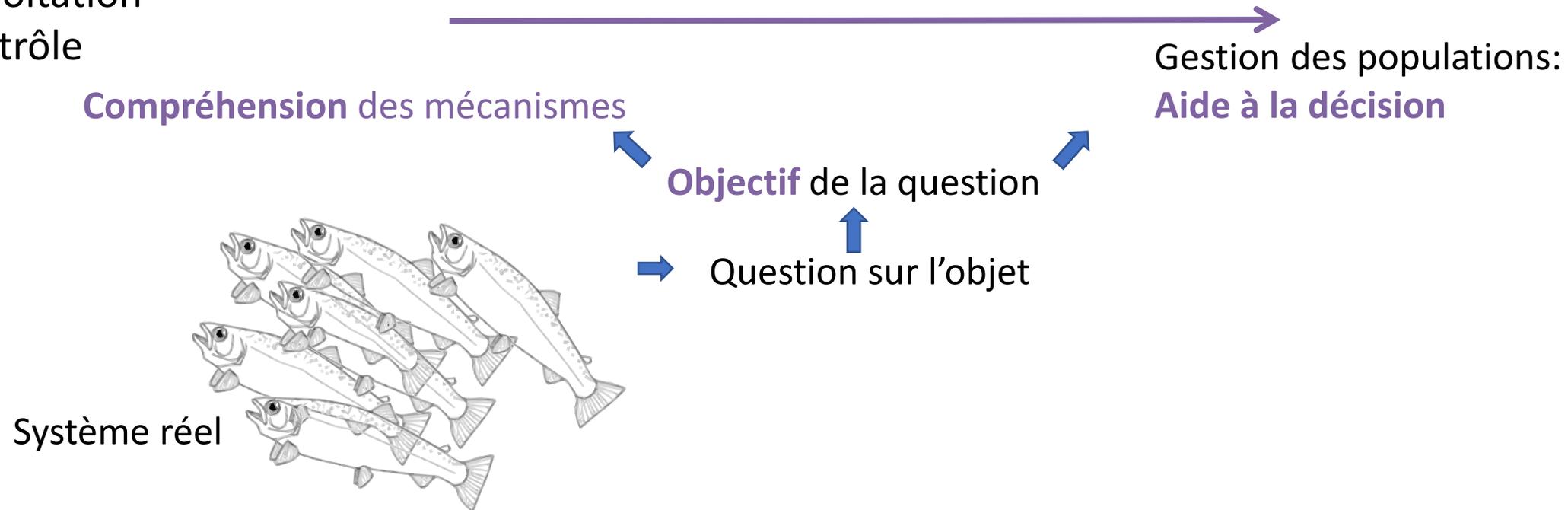


La modélisation pour l'écologie des populations

- Objectifs de modélisation

Questions de:

- Compréhension
- Conservation
- Exploitation
- Contrôle



La modélisation pour l'écologie des populations

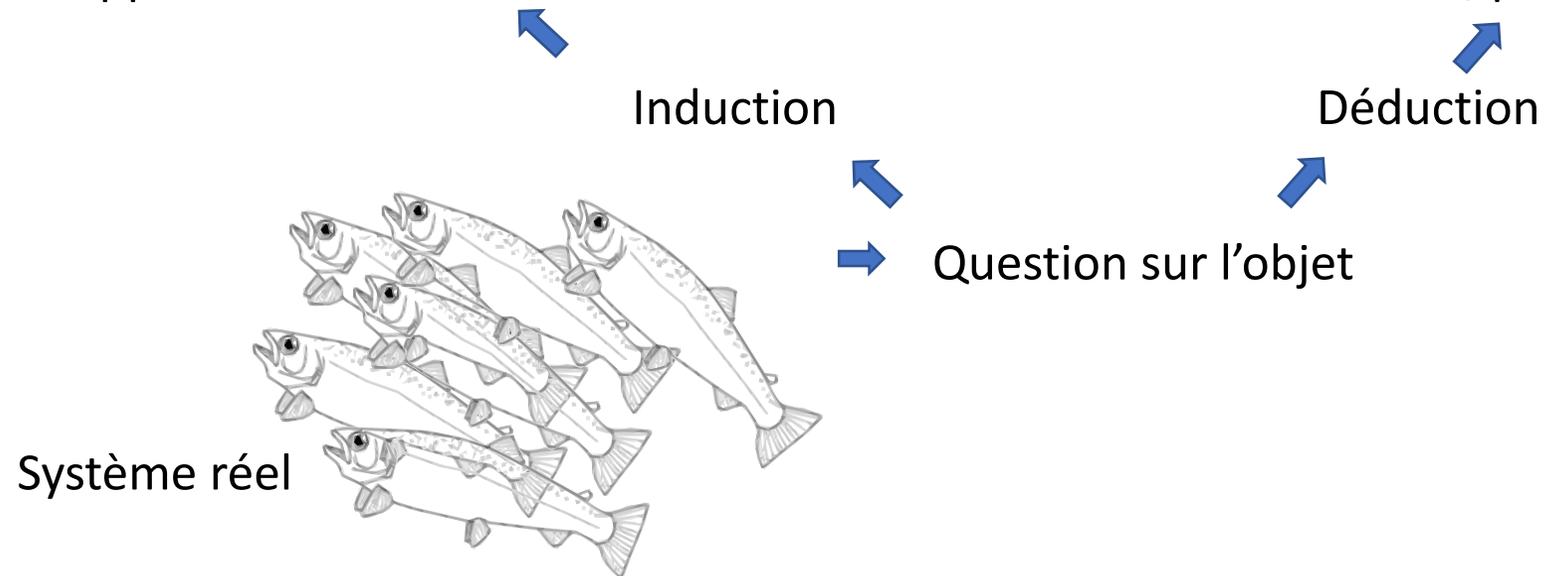
- Types de modèles

Modèles statistiques:

basées sur les observations,
pour vérifier/développer des théories

Modèles mécanistes:

basées sur les processus ou
théories, pour expliquer ou prédire



La modélisation pour l'écologie des populations

- Types de modèles

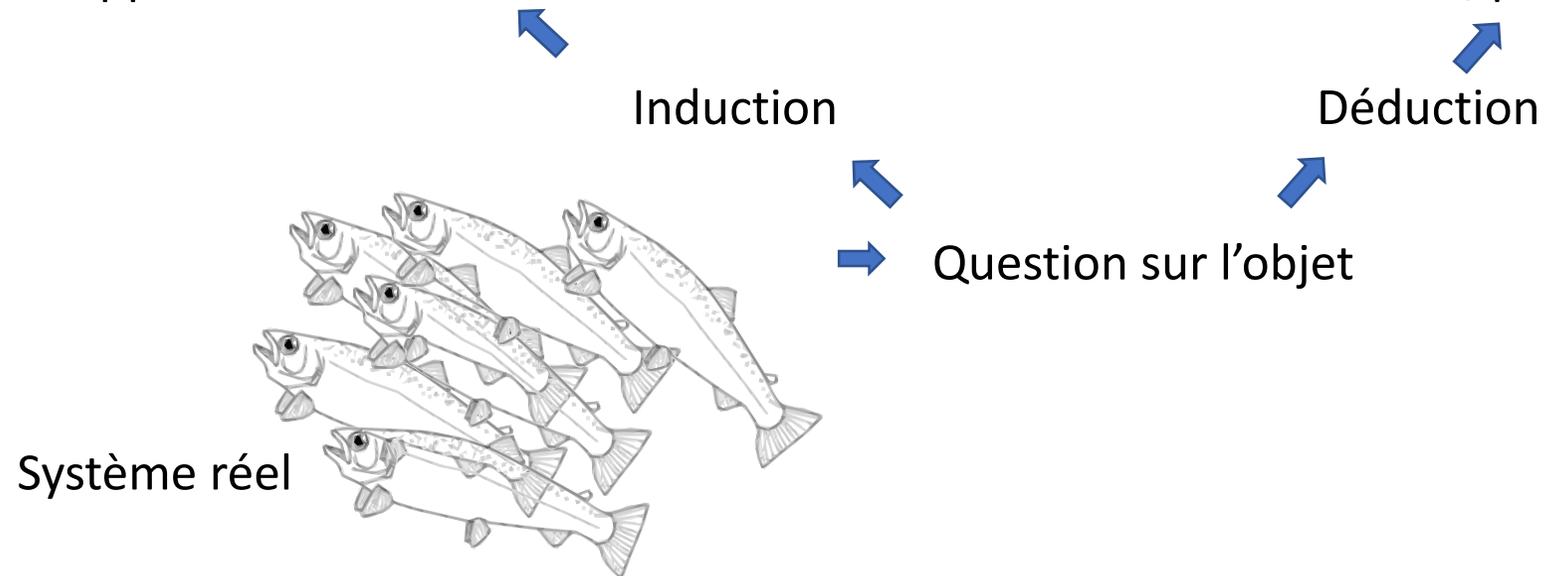
Approche de modélisation

Modèles statistiques:

basées sur les observations,
pour vérifier/développer des théories

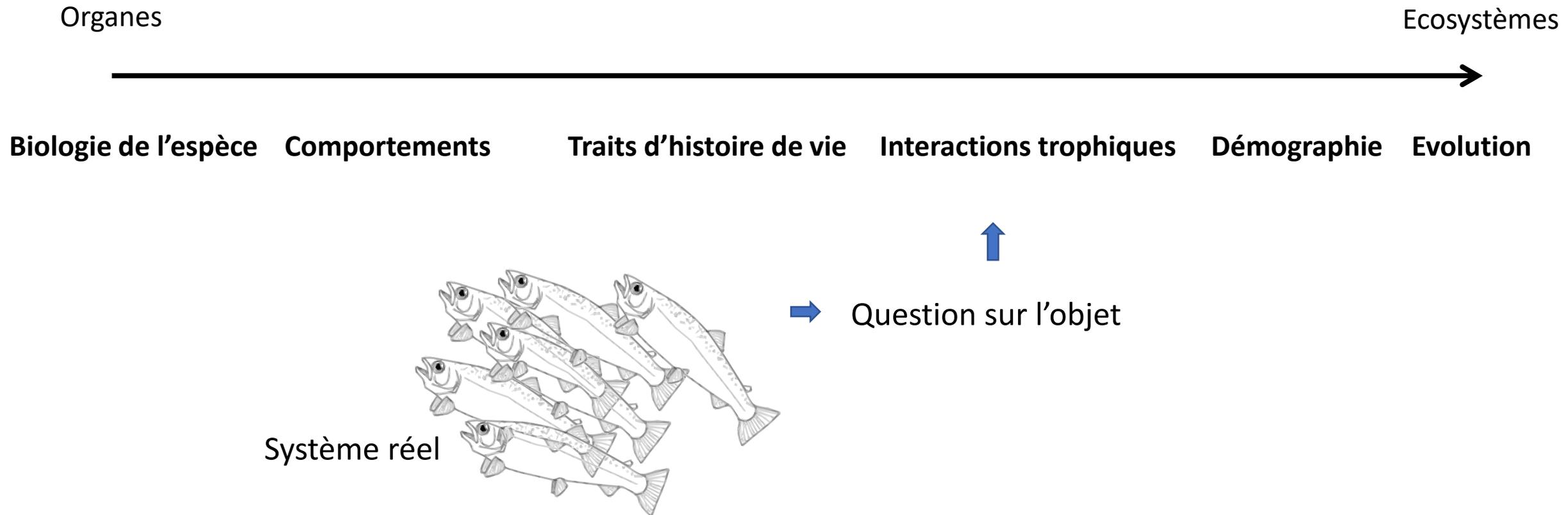
Modèles mécanistes:

basées sur les processus ou
théories, pour expliquer ou prédire



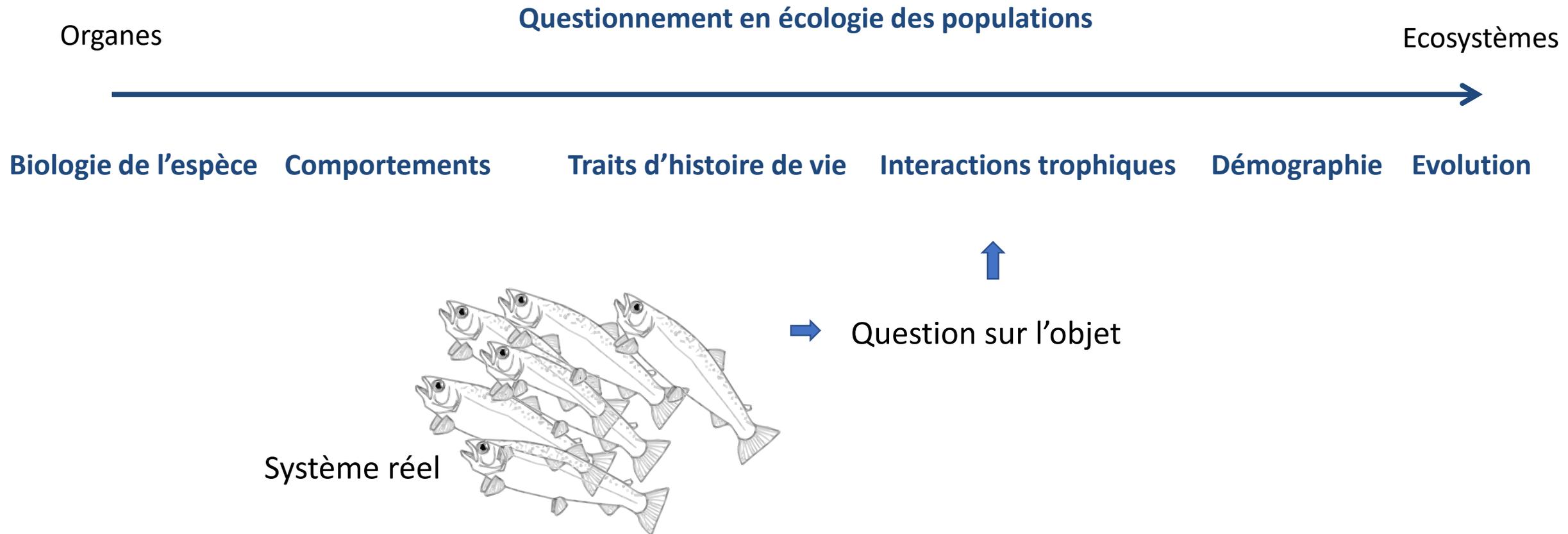
La modélisation pour l'écologie des populations

- Niveau d'intégration de la question



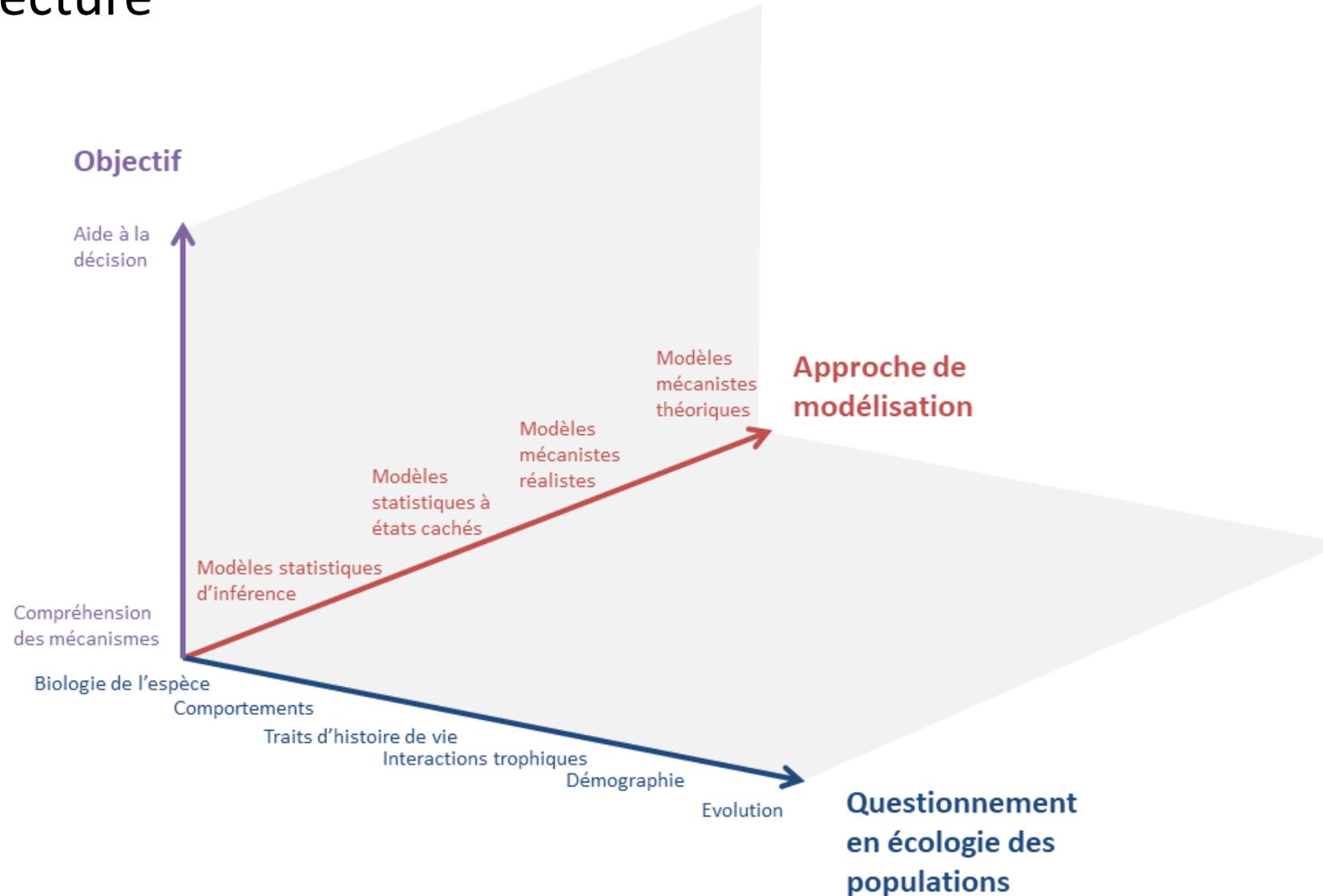
La modélisation pour l'écologie des populations

- Niveau d'intégration de la question



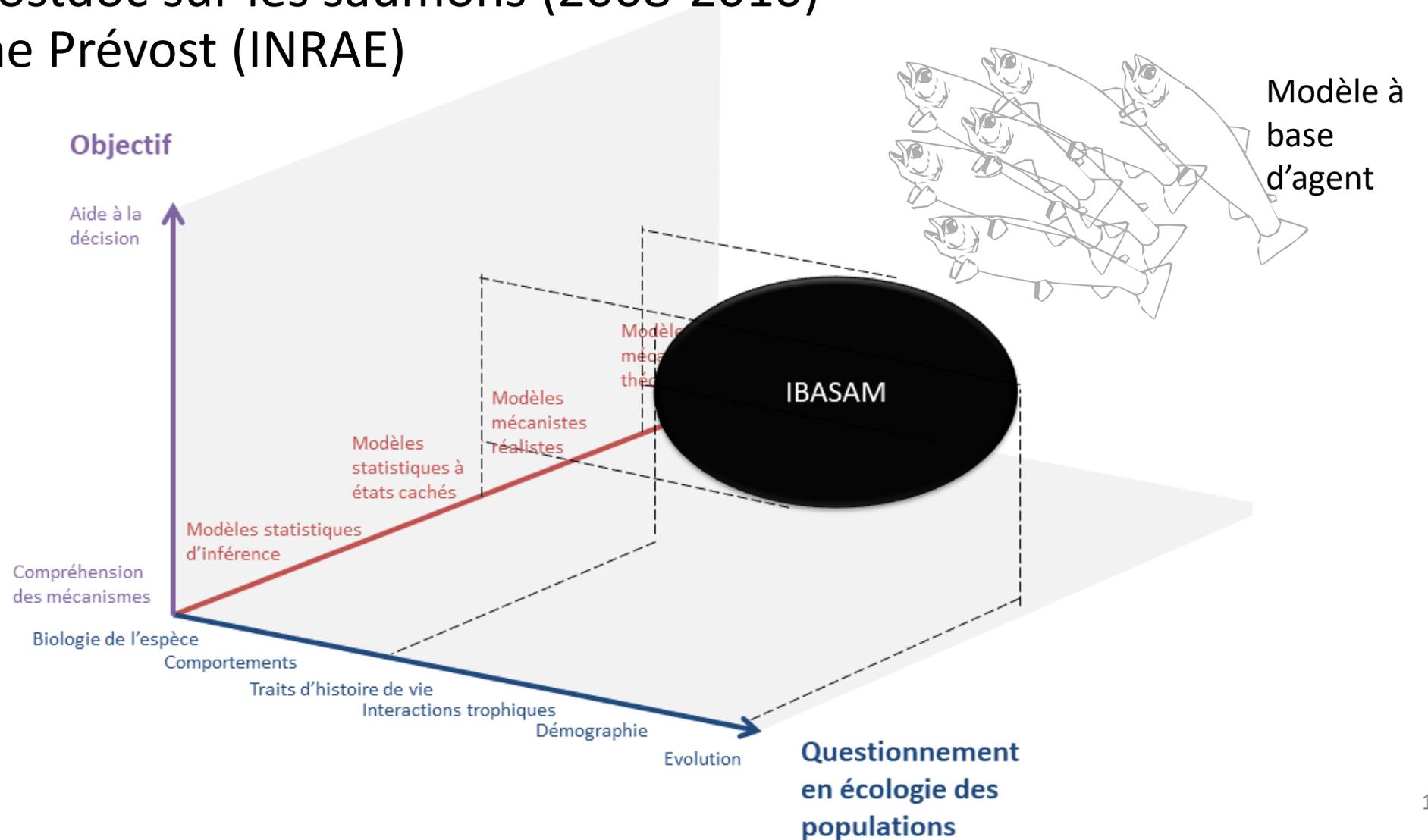
La modélisation pour l'écologie des populations

- Prisme de lecture



La modélisation pour l'écologie des populations

- Exemple: postdoc sur les saumons (2008-2010) avec Etienne Prévost (INRAE)

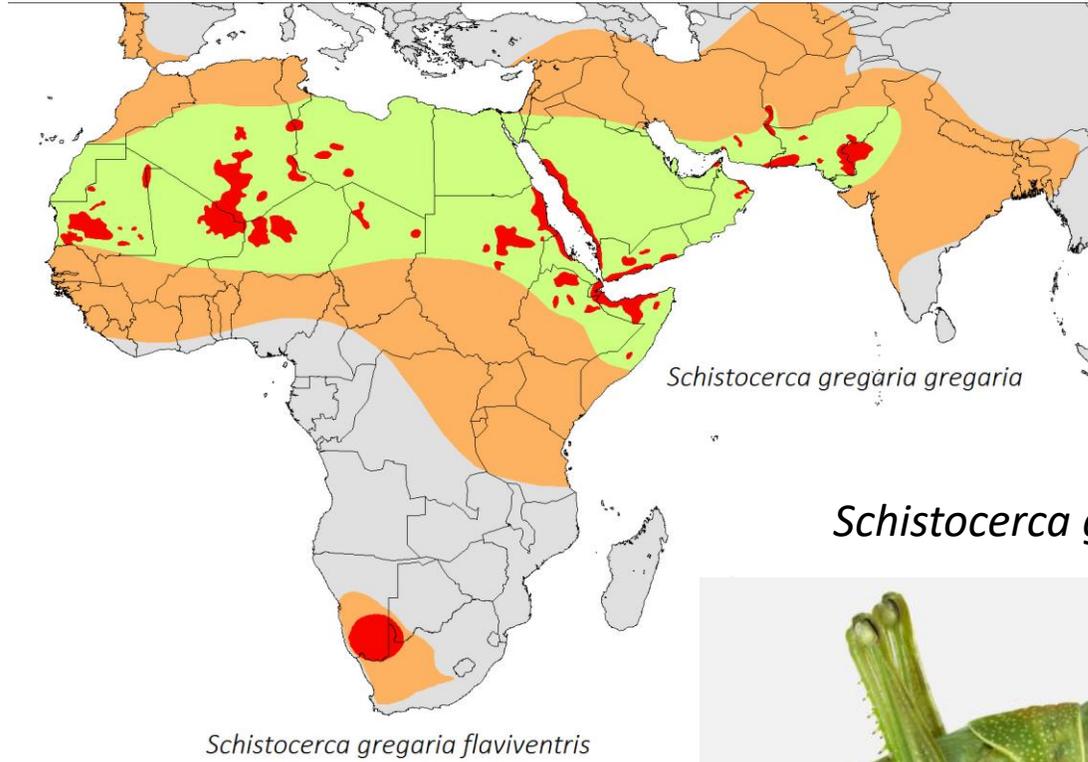


Les problématiques posées par les locustes

- Les locustes = criquets (Acrididae, Orthoptères) capables:
 - De former des bandes larvaires et essaims
 - De polyphénisme de phase
- 100 ans de compréhension du polyphénisme de phase (Uvarov 1921)
- Problèmes pour les humains depuis que l'agriculture existe



Les problématiques posées par les locustes



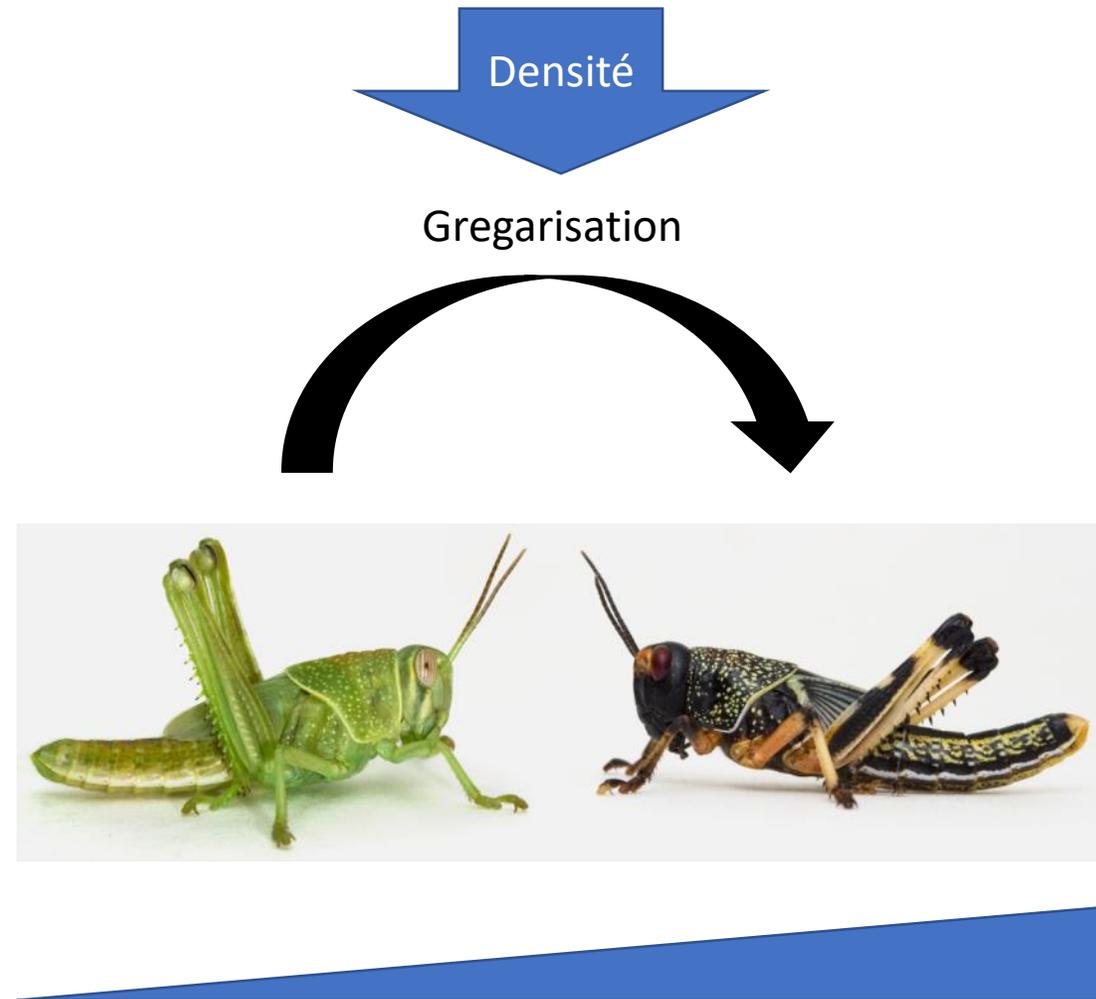
Schistocerca gregaria – Le criquet pèlerin



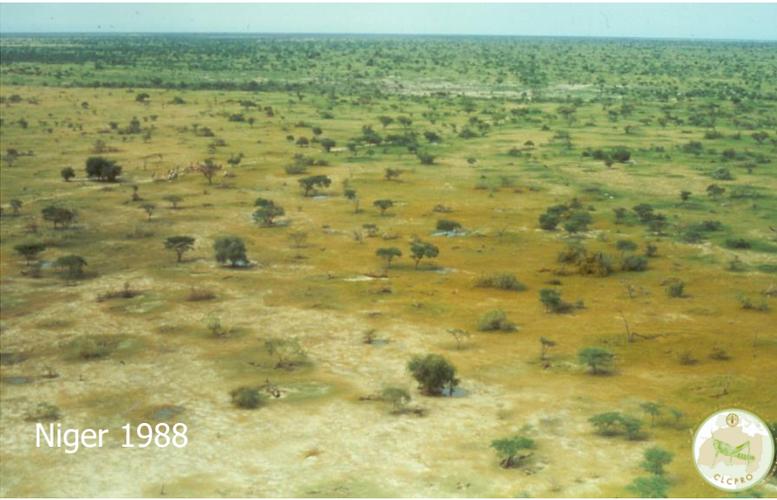
Les problématiques posées par les locustes



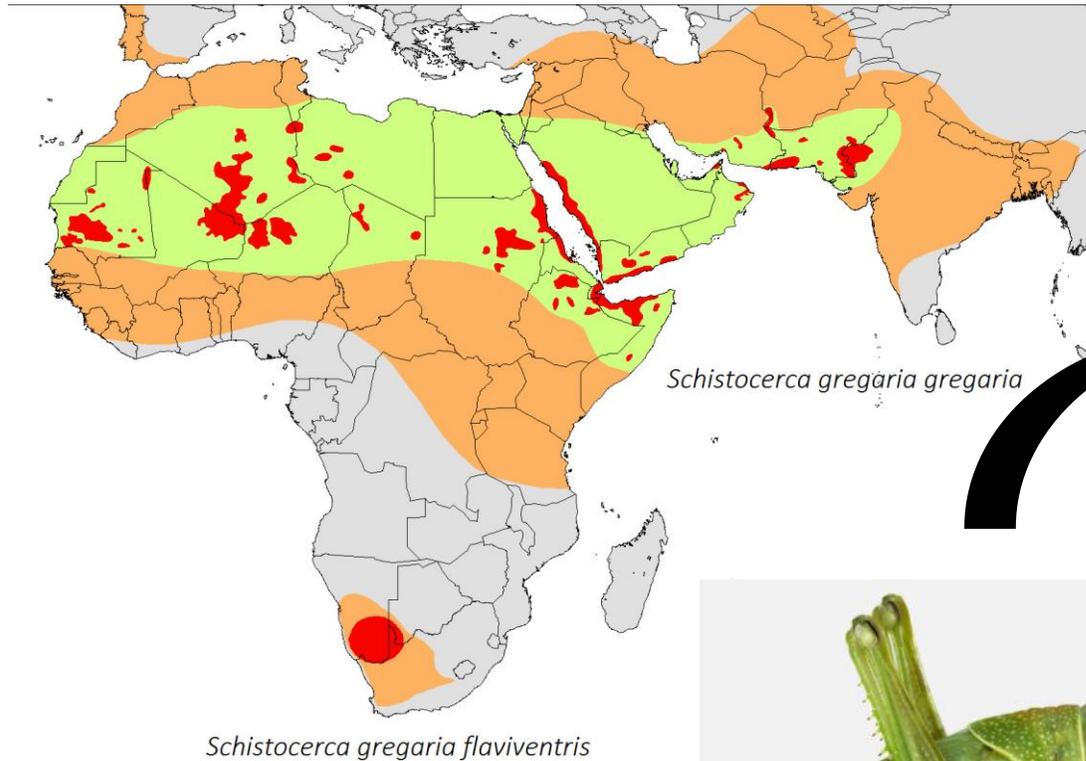
Les problématiques posées par les locustes



Les problématiques posées par les locustes



Les problématiques posées par les locustes



Gestion préventive:

Uvarov (1923) ... Sword et al. (2010)

Identification des zones de reproduction
et grégarisation :

→ Où et quand peut arriver la grégarisation?

→ Où et quand envoyer des équipes de prospection?



Les problématiques posées par les locustes

- Besoin de contenir les populations :
 - Où et quand peut arriver la grégarisation?
 - Compréhension des dynamiques de population
 - quels sont les seuils de densité de grégarisation ?
 - Amélioration des techniques de traitement
 - quelles réductions de population pour éviter les impacts ?

Questions Appliquées



Les problématiques posées par les locustes

- Besoin de comprendre les dynamiques écologiques
 - Facteurs environnementaux :
 - Quels liens plantes-insectes favorisent la multiplication et la grégarisation ?
 - Quels facteurs influencent les migrations des solitaires et des grégaires ?
 - Comment la perception sociétale et la gestion influencent les dynamiques ?



Facteurs environnementaux

Les problématiques posées par les locustes

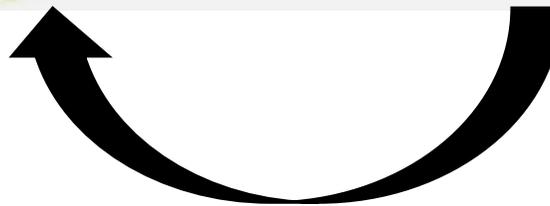
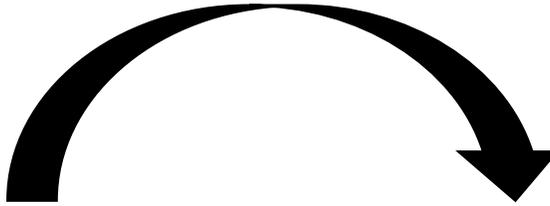
- Besoin de comprendre les processus biologiques
 - Facteurs intrinsèques :
 - PLASTICITE: Quels mécanismes de modification des traits de phase ?
 - Quels mécanismes de mouvement de groupes (initiation & conservation) ?



Facteurs intrinsèques

Les problématiques posées par les locustes

- Curiosité de comprendre les processus évolutifs :
 - Quels mécanismes de transmission inter-générationnels des traits de phase ?
 - Quels avantages évolutifs des deux phases ?



Evolution du polyphénisme

Les problématiques posées par les locustes

A1. où et quand peut arriver la grégarisation ?
A2. quels sont les seuils de densité de grégarisation ?
A3. quelles réductions de population pour éviter les impacts ?

B1. quels liens plantes-insectes favorisent la grégarisation ?
B2. quels facteurs influencent les migrations ?
B3. comment la perception influencent les dynamiques ?

C1. quels mécanismes modifiant les traits phasaires ?
C2. quels mécanismes de mouvement de groupe ?

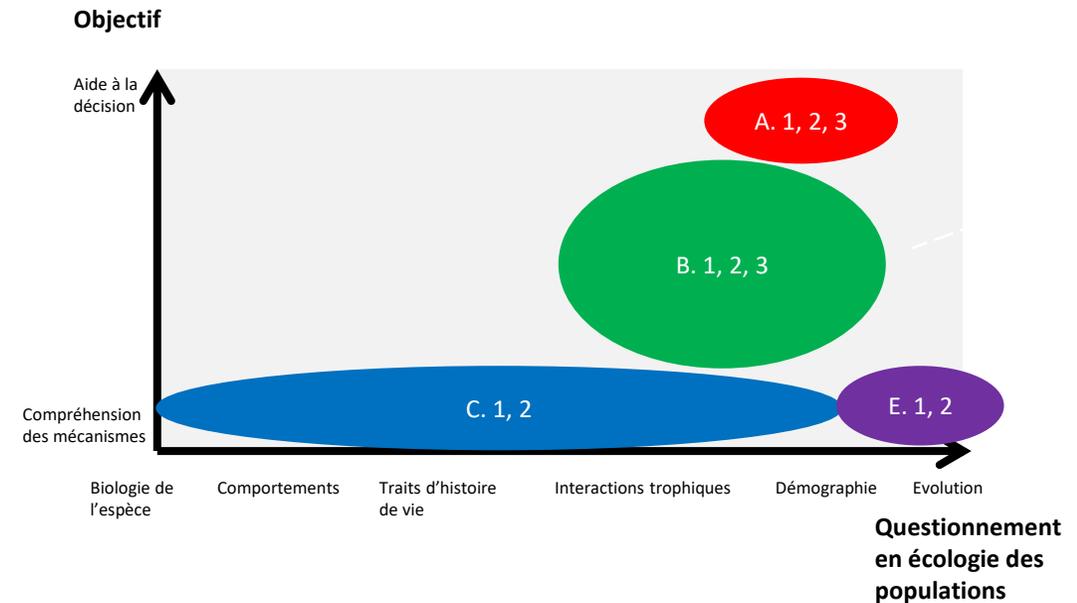
E1. quels mécanismes de transmission des traits phasaires ?
E2. quels avantages évolutifs des deux phases ?

Questions Appliquées



Facteurs environnementaux

Facteurs intrinsèques



Evolution du polyphénisme

Focus pour aujourd'hui...

A1. où et quand peut arriver la grégarisation ?

A2. quels sont les seuils de densité de grégarisation ?

A3. quelles réductions de population pour éviter les impacts ?

B1. quels liens plantes-insectes favorisent la grégarisation ?

B2. quels facteurs influencent les migrations ?

B3. comment la perception influencent les dynamiques ?

C1. quels mécanismes modifiant les traits phasaires ?

C2. quels mécanismes de mouvement de groupe ?

E1. quels mécanismes de transmission des traits phasaires ?

E2. quels avantages évolutifs des deux phases ?

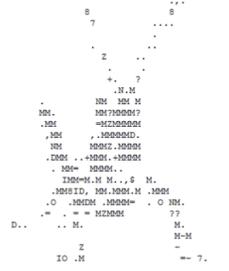
Questions Appliquées



Facteurs environnementaux

Facteurs intrinsèques

I. Modélisation pour la prévision du risque acridien



II. Comportements de mouvements collectifs



Evolution du polyphénisme

I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

Contributions 2010 – 2019

Projets en cours

```
      8      8  
      7      ....  
      .      ..  
      Z      ..  
      .      .  
      +.     ?  
      .N.M  
      NM MM M  
MM.     MM?MMMM?  
.MM     =MZMMMMM  
,MM     ,.MMMMMD.  
NM      MMMZ.MMMM  
.DMM ..+MMM.+MMM  
 . MM= MMMM..  
      IMM=M.M M.,$ M.  
.MM$ID, MM.MMM.M .MMM  
.O .MMDM .MMMM= . O NM.  
. = = MZMMM     ??  
D..     .. M.     M.  
      Z     M~M  
      IO .M     ~  
      =~ 7.
```

I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- La notion de “risque acridien”

ISO3100:2009 *Risque = incertitude*  *objectif*

$$Risque(\alpha, x) = P(\alpha) \times Pertes(x|\alpha)$$

où:

- x est l'objectif : production agricole
- α est l'évènement indésirable : une recrudescence de populations acridiennes ou en amont, la grégarisation

➔ $P(\alpha)$ est la variable d'intérêt à représenter dans des modèles s'intéressant à « où est quand envoyer des équipes de prospection ? »

I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- Etat de l'art en 2010 pour le criquet pèlerin

- Plusieurs approches mécanistes:

- Biomodèles – tables de vie
(Launois 1984, Launois & Lecoq 1990, Axelsen et al. 2009)
 - Matriciels – classes d'âges
(Cheke & Holt 1993, Tratalos et al. 2010)

- Utilisation d'images satellitaires:

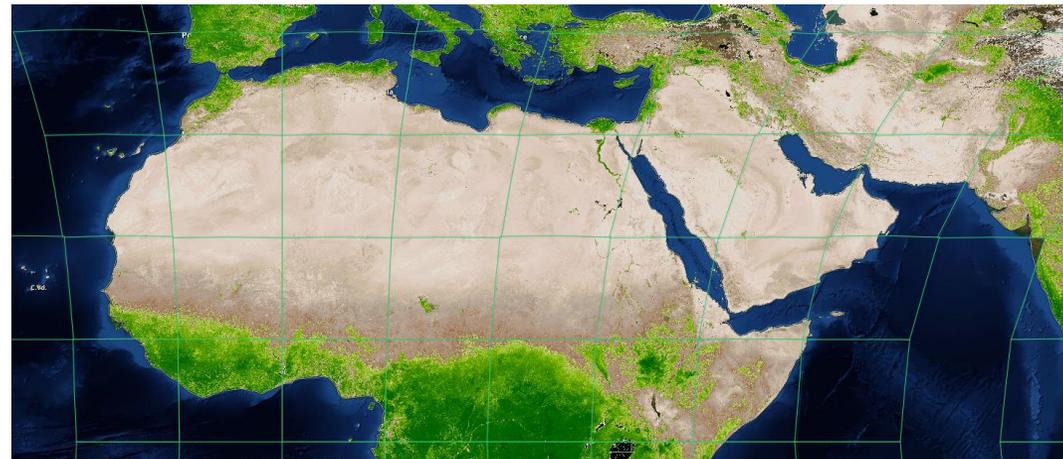
- Indicateur de pluviométrie (Joyce et al. 2004)
 - Débat sur l'utilisation du NDVI (Tratalos & Cheke 2006)
 - Indicateur de verdissement de la végétation (Pékel et al. 2010)

NDVI ~ activité photosynthétique

Rouge Proche IR



$$NDVI = \frac{PIR - Rouge}{PIR + Rouge}$$



I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- Etat de l'art en 2010 pour le criquet pèlerin

- Plusieurs approches mécanistes:

- Biomodèles – tables de vie
(Launois 1984, Launois & Lecoq 1990, Axelsen et al. 2009)
 - Matriciels – classes d'âges
(Cheke & Holt 1993, Tratalos et al. 2010)

- Utilisation d'images satellitaires:

- Indicateur de pluviométrie (Joyce et al. 2004)
 - Débat sur l'utilisation du NDVI (Tratalos & Cheke 2006)
 - Indicateur de verdissement de la végétation (Pékel et al. 2010)

- Pas de travaux probabilistes ($P(\alpha)$)

➔ couplage statistique des images satellitaires et des observations d'occurrences de criquet pèlerin...

NDVI ~ activité photosynthétique

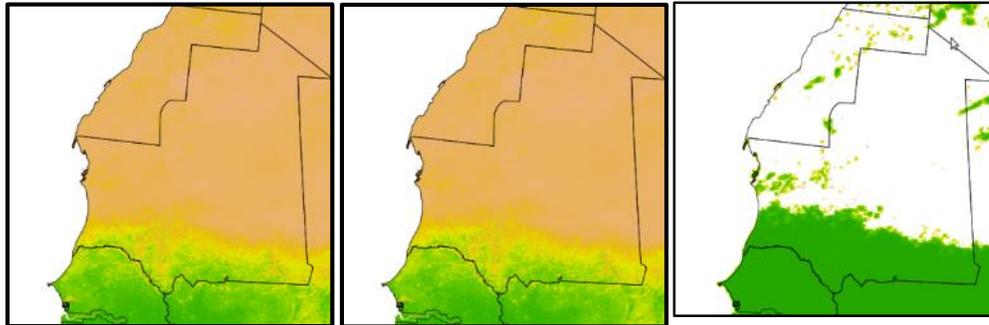
Rouge Proche IR



$$NDVI = \frac{PIR - Rouge}{PIR + Rouge}$$

I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- **Projet CLCPRO-FFEM**



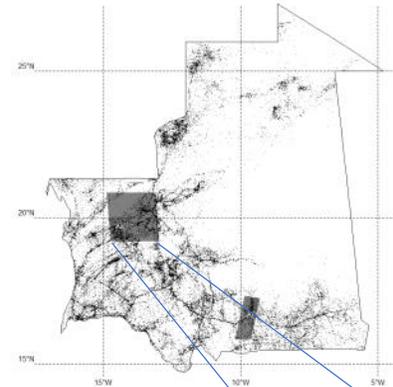
NDVI

Construction de variables locales et temporelles

Dimension fractale du NDVI

Leçons: 1-NDVI optimum à petite échelle
2-Variation optimum de NDVI 1,5 mois avant

~
...

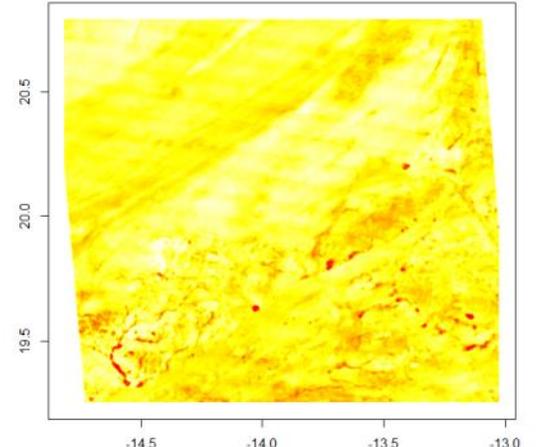


Données de prospections présence/absence (2 915 points)

➔ Modèle de régression logistique

↓
Inférence multi-modèles

↓
Cartes de prévision de présence



$$\text{Logit}[P(\text{obs})] \sim \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot$$



GfÖ

GfÖ Ecological Society of Germany, Austria and Switzerland

Basic and Applied Ecology 14 (2013) 593–604

Basic and Applied Ecology

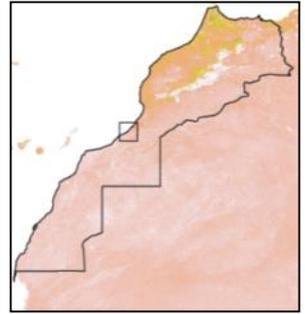
www.elsevier.com/locate/baaec

Coupling historical prospection data and a remotely-sensed vegetation index for the preventative control of Desert locusts

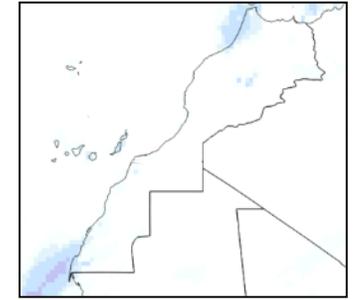
Cyril Piou^{a,*}, Valentine Lebourgeois^{a,b}, Ahmed Salem Benahi^c, Vincent Bonnal^b, Mohamed el Hacen Jaavar^c, Michel Lecoq^a, Jean-Michel Vassal^a

I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- Expertise pour le CRTS

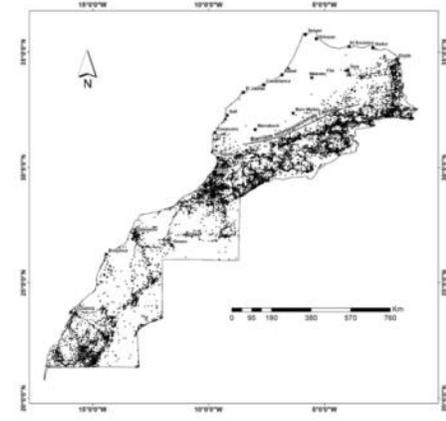


NDVI → variables temporelles



Pluie, Température

~
...



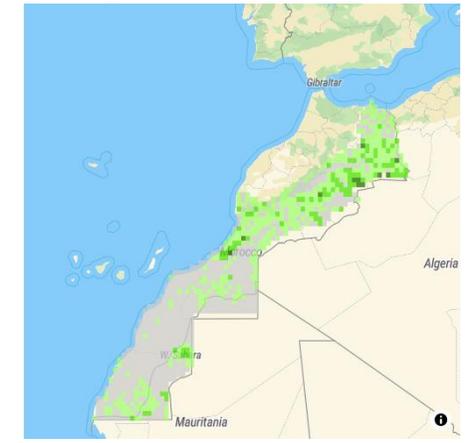
Données de prospections présence/absence & phase (>5 500 points)



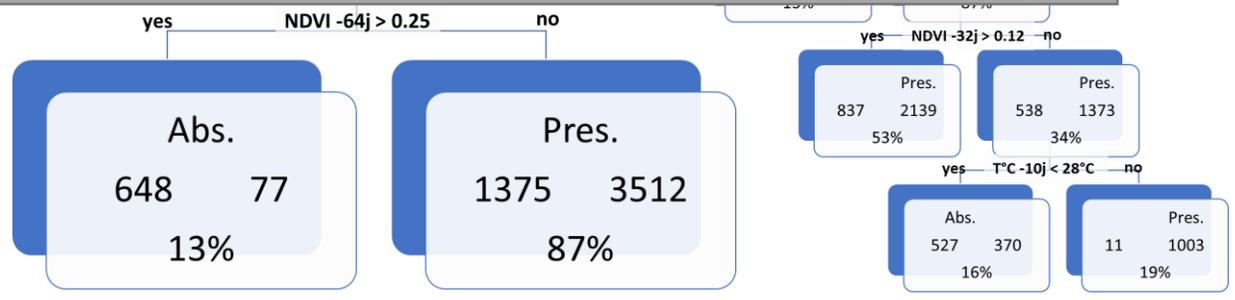
Modèle de régression logistique & Forêts d'arbres aléatoires



Cartes de prévision de présence et phase



Outils opérationnel fourni par le CRTS au CNLAA du Maroc
 Leçon: modélisation par forêts d'arbres aléatoires meilleure qu'avec les régressions logistiques

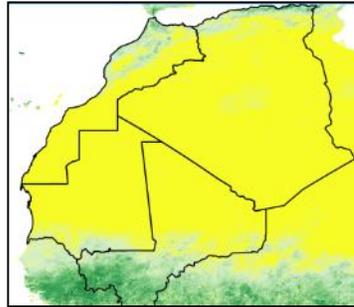


I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

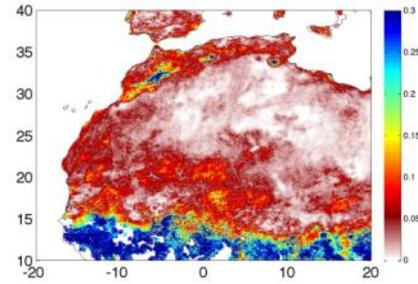
• Projet SMELLS



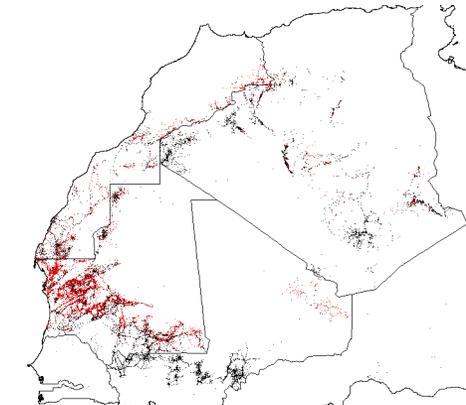
isardSAT®



NDVI → variables temporelles



Humidité du sol → variables temporelles



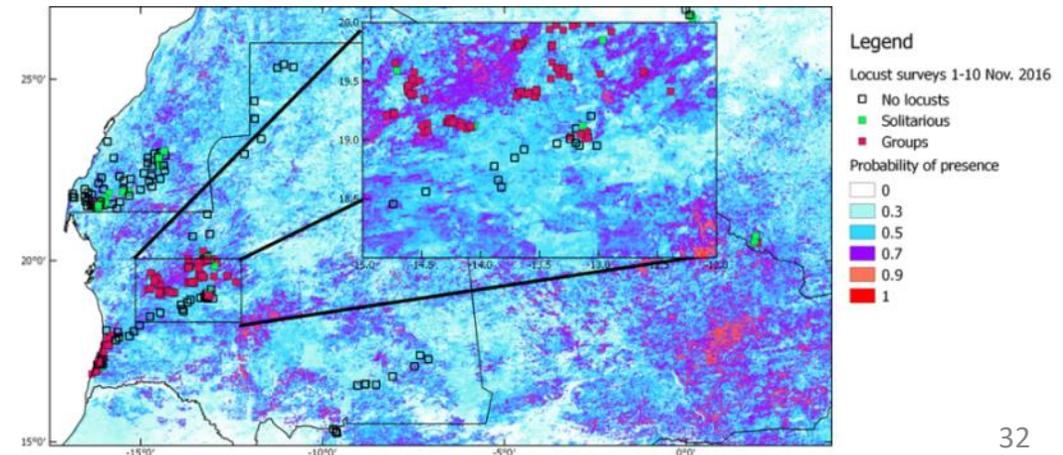
Données de prospections présence/absence (>28 000 points)



Modèle de régression logistique & Forêts d'arbres aléatoires



Cartes de prévision de présence (démonstration)



Leçon: Humidité du sol a un optimum 2,5 mois avant l'observation (vs. 1,5 mois pour NDVI)

Received: 4 April 2018 Accepted: 7 November 2018

DOI: 10.1111/1365-2664.13323

RESEARCH ARTICLE

Journal of Applied Ecology



Soil moisture from remote sensing to forecast desert locust presence

Cyril Piou^{1,2,3} | Pierre-Emmanuel Gay¹ | Ahmed Salem Benahi⁴ | Mohamed Abdallahi Ould Babah Ebbe^{4,5} | Jamal Chihrane² | Saïd Ghaout² | Sory Cisse⁶ | Fakaba Diakite⁶ | Mohammed Lazar⁷ | Keith Cressman⁸ | Olivier Merlin⁹ | Maria-José Escorihuela¹⁰

I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- Projets passés

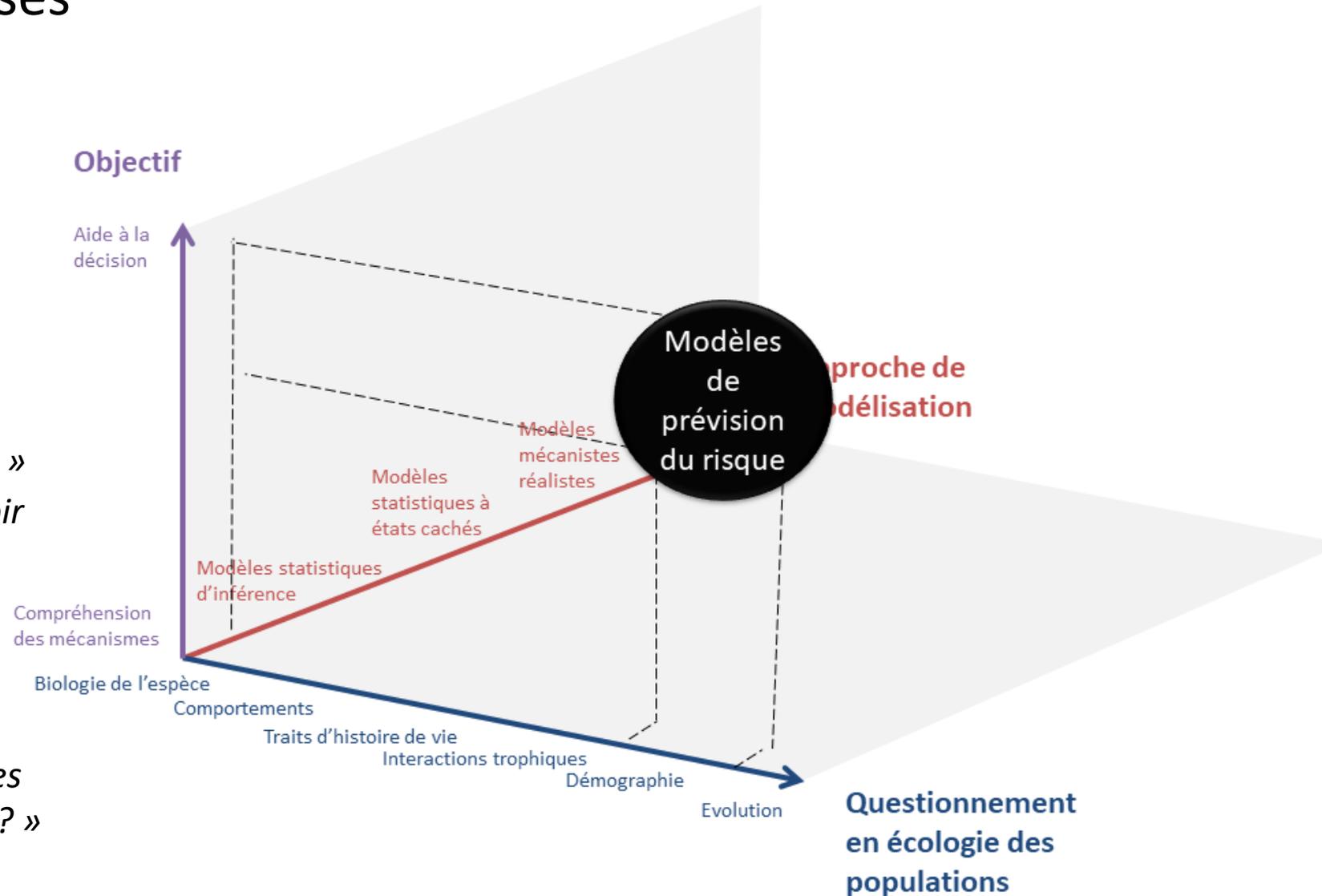
Modèle A*

« où et quand peut arriver la grégarisation ? »
« où et quand peut on voir des criquets pèlerin ? »

Observateur

Objet A

« où et quand envoyer des équipes de prospections ? »



I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- Projet CLCPRO-AFD 2021 - 2024

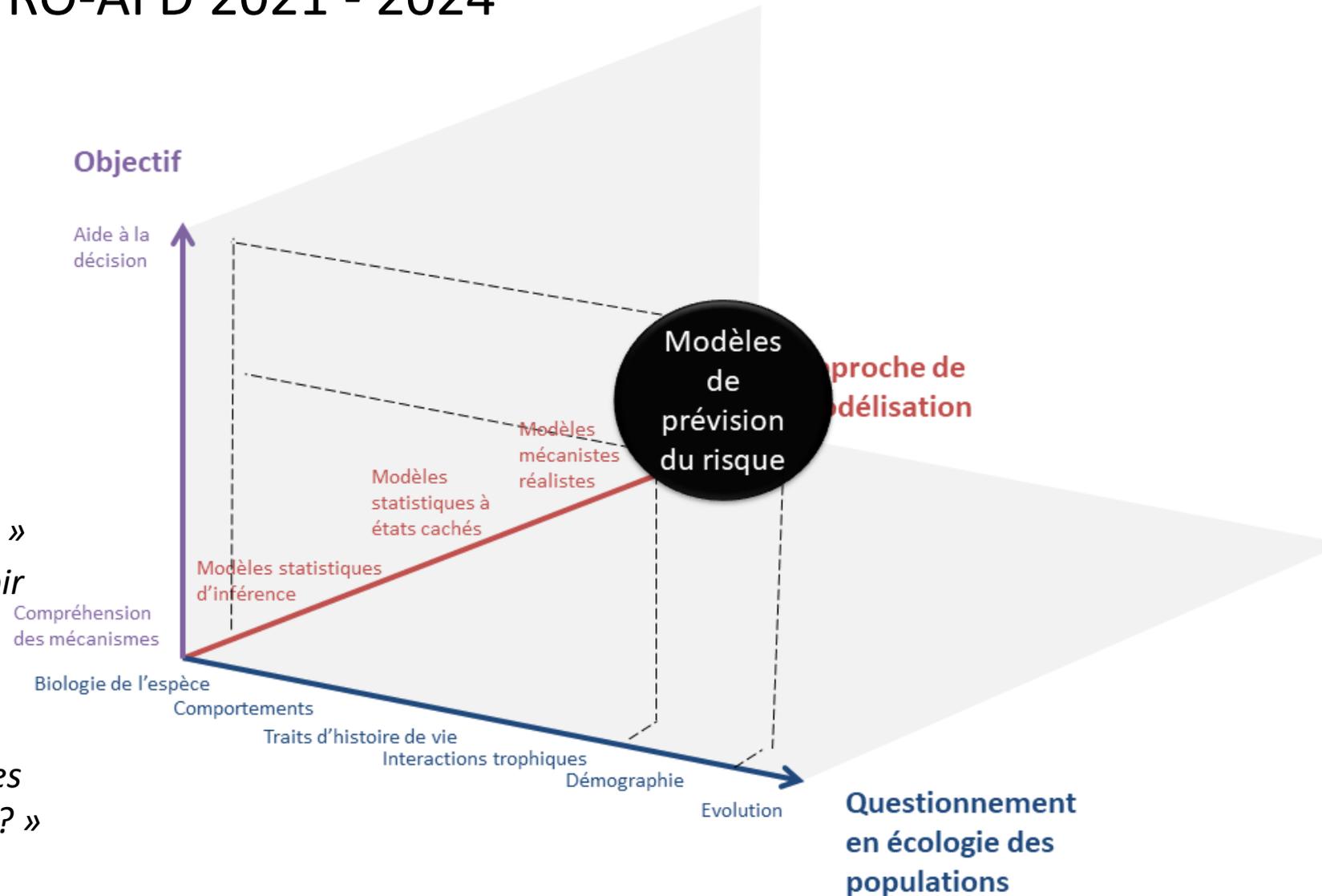
A*

« où et quand peut arriver la grégarisation ? »
« où et quand peut on voir des criquets pèlerin ? »



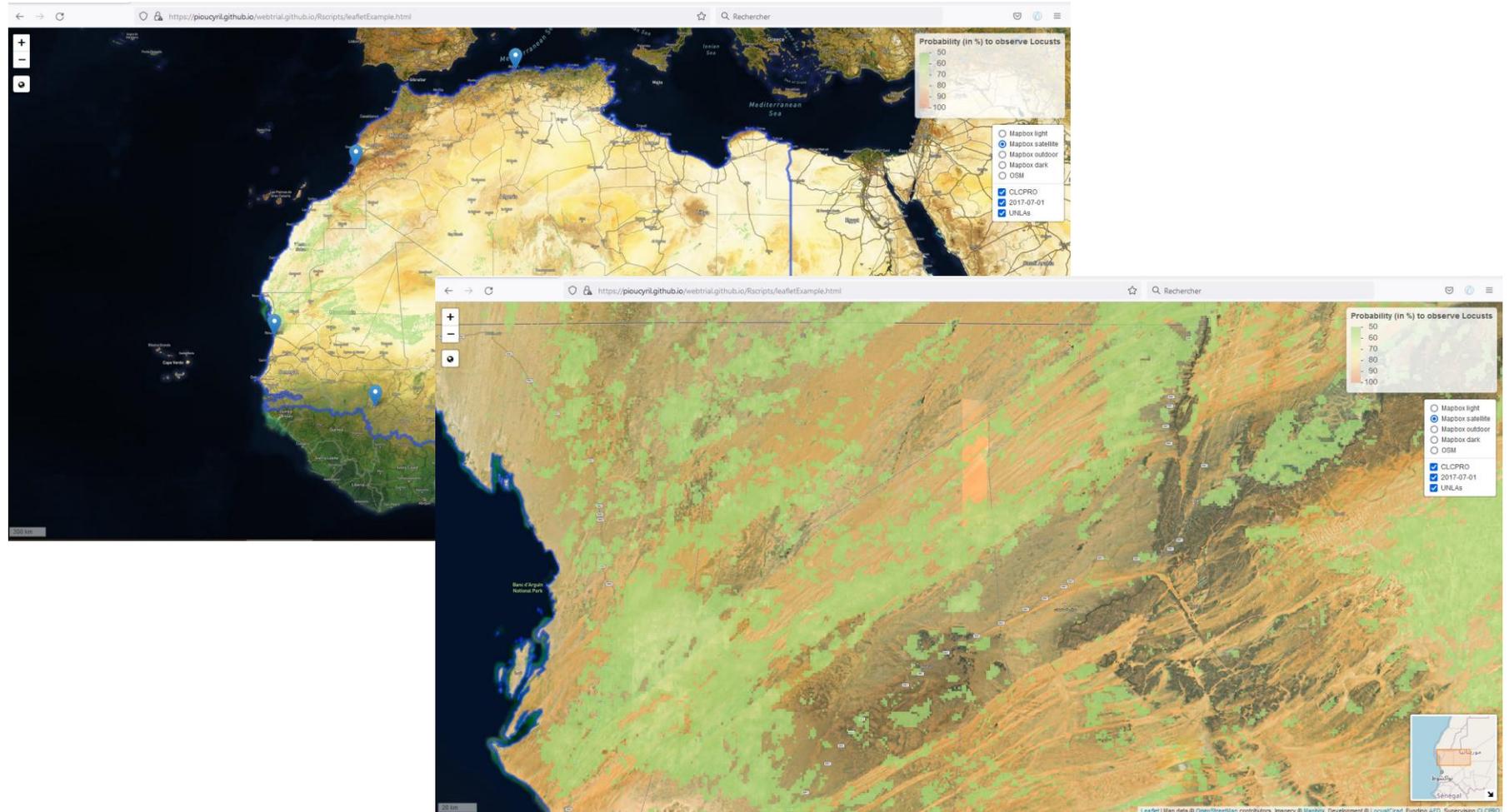
A

« où et quand envoyer des équipes de prospections ? »



I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- Projet CLCPRO-AFD 2021 - 2024



A*

« où et quand peut arriver la grégarisation ? »
« où et quand peut on voir des criquets pèlerin ? »



A

« où et quand envoyer des équipes de prospections ? »

I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- Recrutement de Lucile Marescot
 - ➔ Intégration de la démographie dans les modèles
 - ➔ Modélisation à états cachés

A*

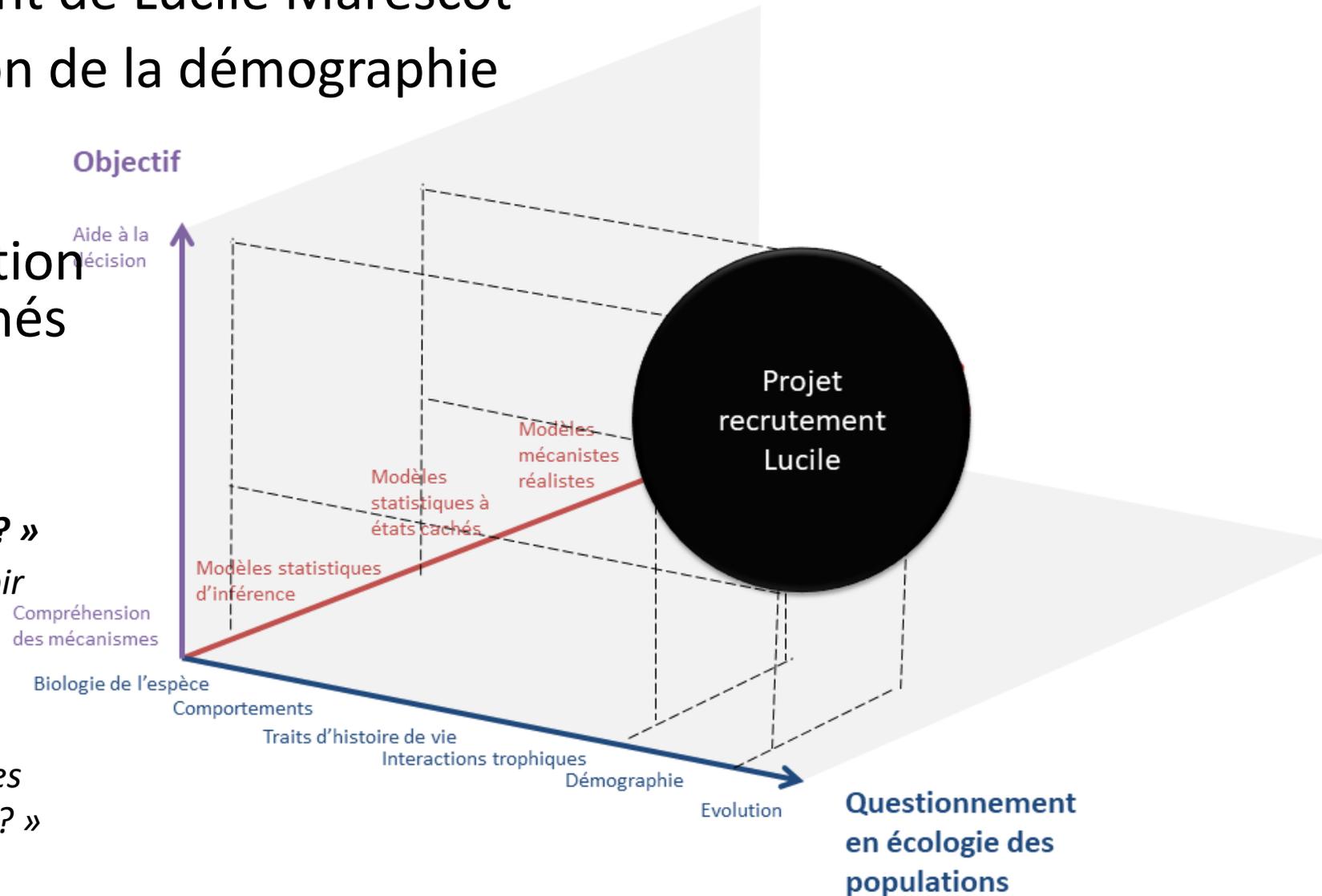
« où et quand peut arriver la grégarisation ? »

« où et quand peut on voir des criquets pèlerin ? »



A

« où et quand envoyer des équipes de prospections ? »



I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- Recrutement de Lucile Marescot + Thèse CLCPRO
- ➔ Intégration de la démographie dans les modèles
- ➔ Modélisation à états cachés

A*

« où et quand peut arriver la grégarisation ? »
« où et quand peut on voir des criquets pèlerin ? »



A

« où et quand envoyer des équipes de prospections ? »

Observations

Observation de végétation (NDVI)

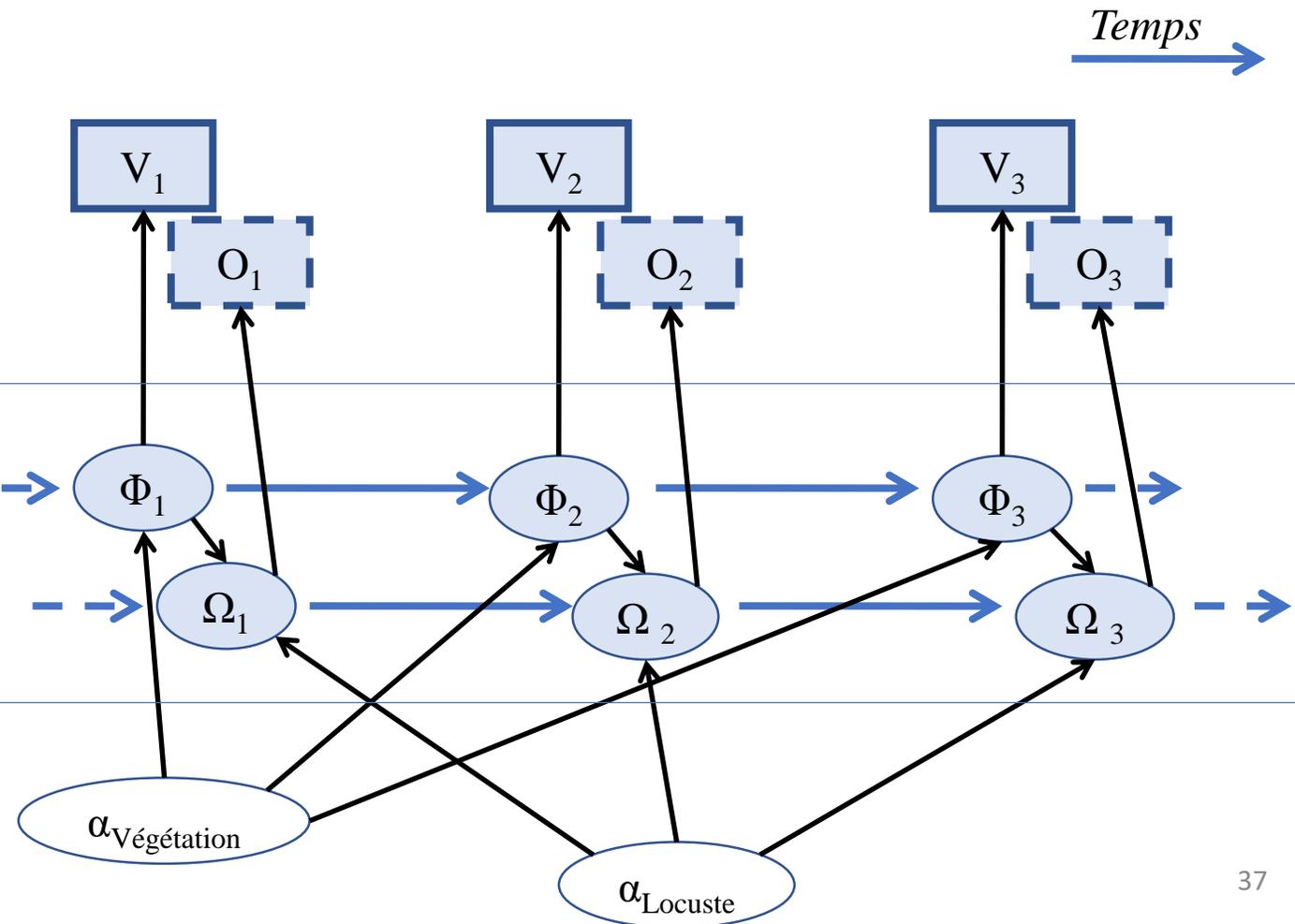
Observation des locustes (prospections)

Couche latente

Variable de végétation

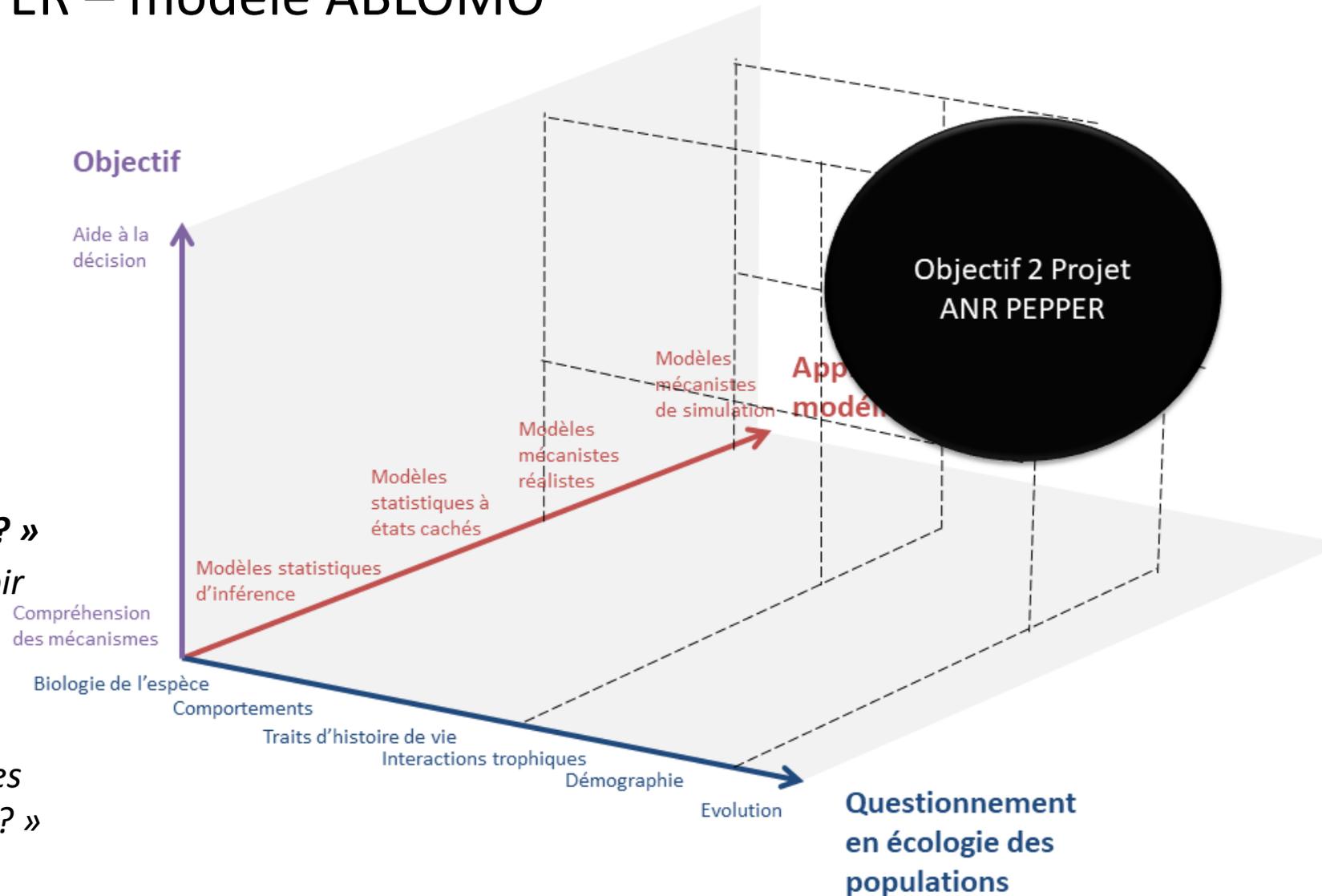
Variable des locustes

Paramètres



I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- Projet PEPPER – modèle ABLOMO



A*

« où et quand peut arriver la grégarisation ? »

« où et quand peut on voir des criquets pèlerin ? »

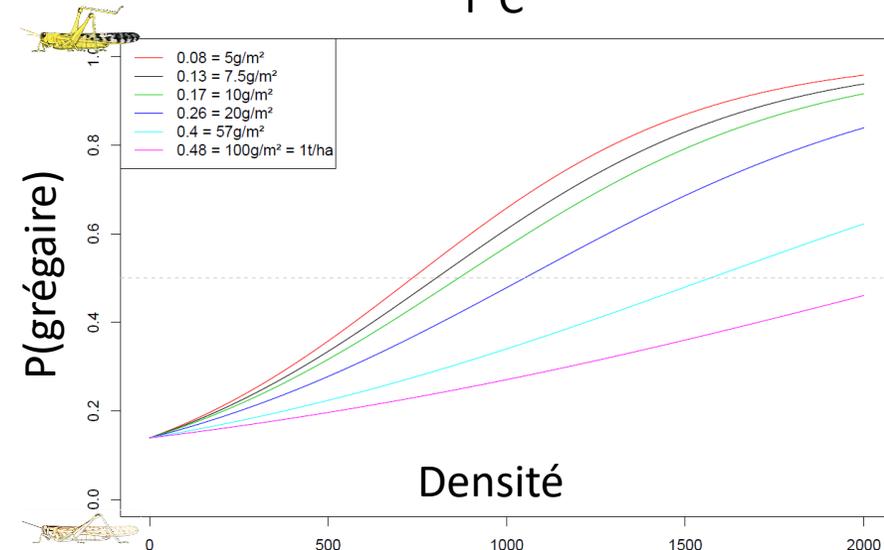
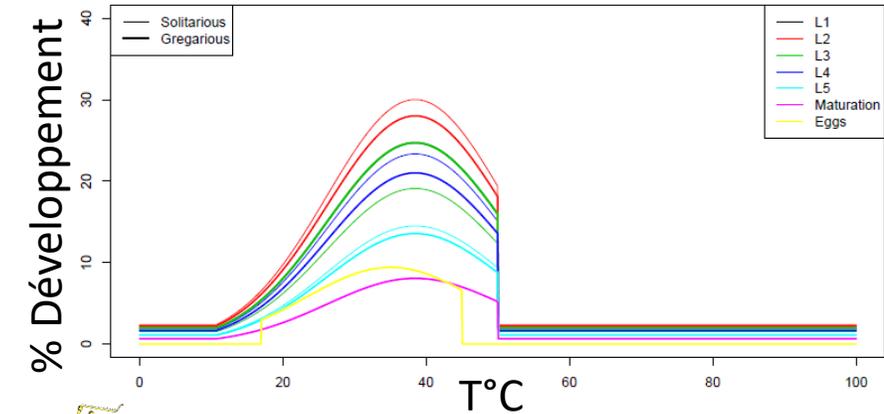


A

« où et quand envoyer des équipes de prospections ? »

I. Modélisation pour la prévision du risque acridien

- **Projet PEPPER – modèle ABLOMO**
 - En cours de développement
 - Remobilise les modèles/connaissances:
 - Développement $\sim T^{\circ}\text{C}$ (Reus & Symmons 1992 + seuils de Chapuis et al. 2021, Maeno et al. 2021)
 - Grégarisation $\sim \text{NDVI}$ (Cissé et al. 2013, 2015)
 - Déplacements des essaims (SANDMAN)



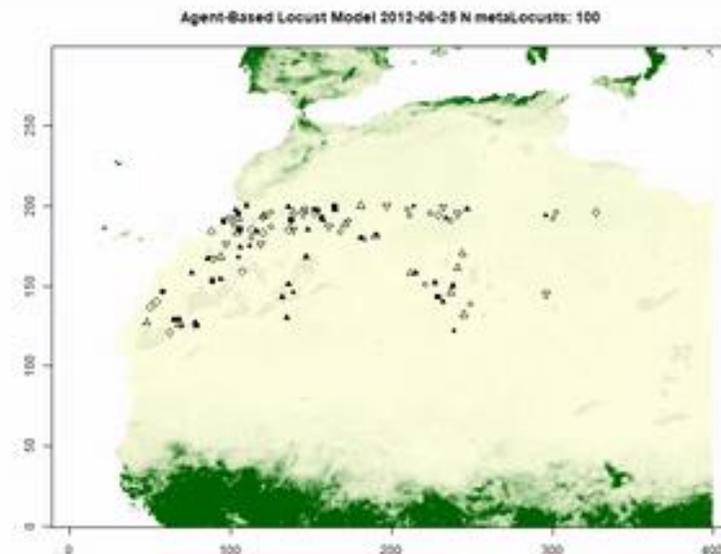
A*

« où et quand peut arriver la grégarisation ? »
« où et quand peut on voir des criquets pèlerin ? »



A

« où et quand envoyer des équipes de prospections ? »



II. Comportements de mouvements collectifs

Contributions 2012 – 2019

Observations de terrain & Projets en cours et à venir



II. Comportements de mouvements collectifs

- Marche orientée des larves de locustes

Larves de stade 3 de *S. gregaria* marchant sur 2m²
vidéo par Sory Cissé en décembre 2013 en Mauritanie

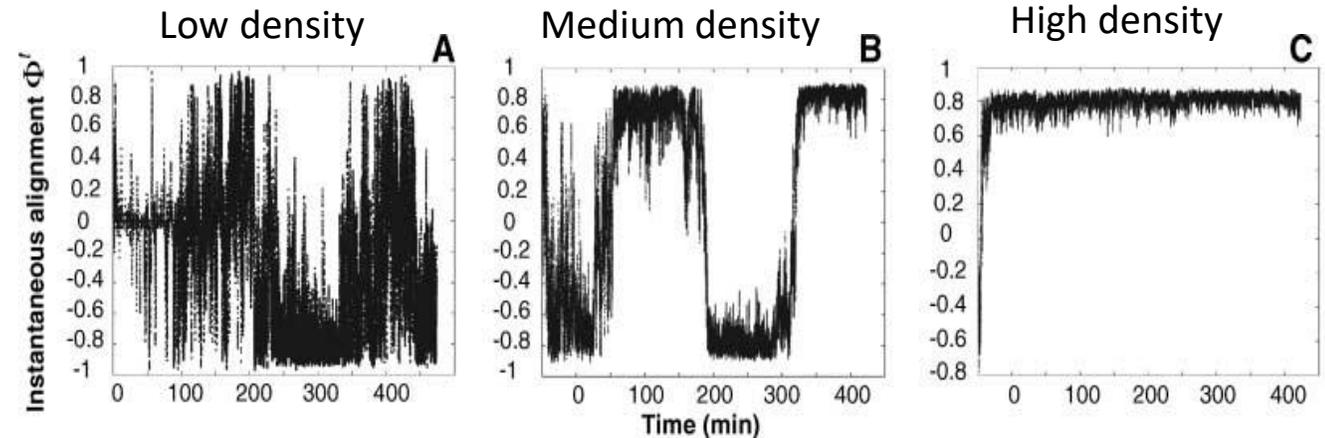


II. Comportements de mouvements collectifs

- Marche orientée des larves de locustes
 - Polarization émerge de la densité
 - Modèles SPP \sim expériences
 - Proposition du rôle du cannibalisme (Bazazi et al. 2008, Guttal et al. 2012)



(Buhl et al. 2006)



II. Comportements de mouvements collectifs

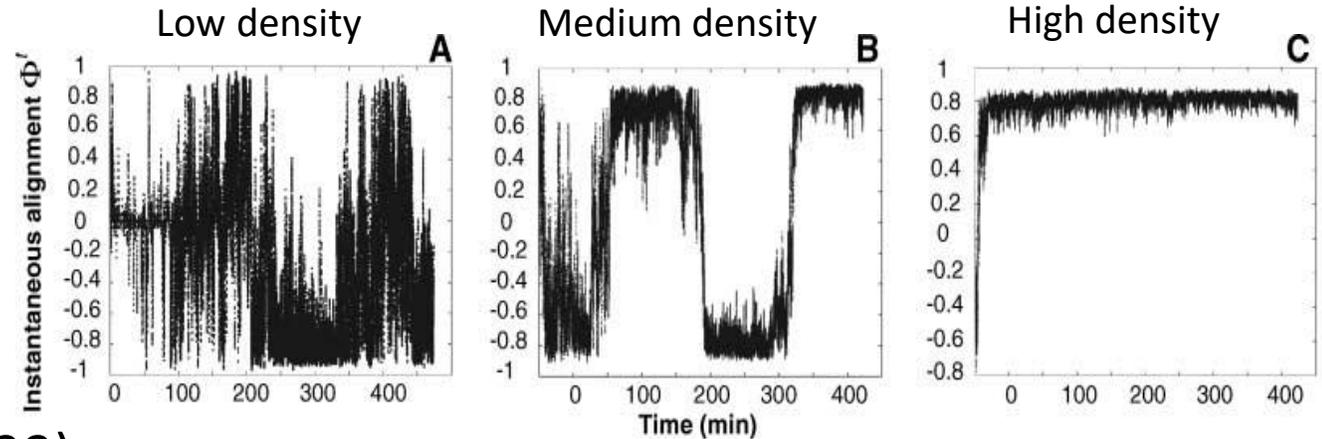
- Marche orientée des larves de locustes

- Polarization émerge de la densité
 - Modèles SPP ~ expériences

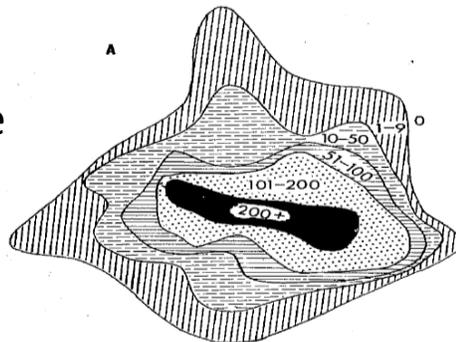
- Proposition du rôle du cannibalisme (Bazazi et al. 2008, Guttal et al. 2012)

- Gradient de densité & forme (Buhl et al. 2011, Lecoq et al. 1999)

(Buhl et al. 2006)

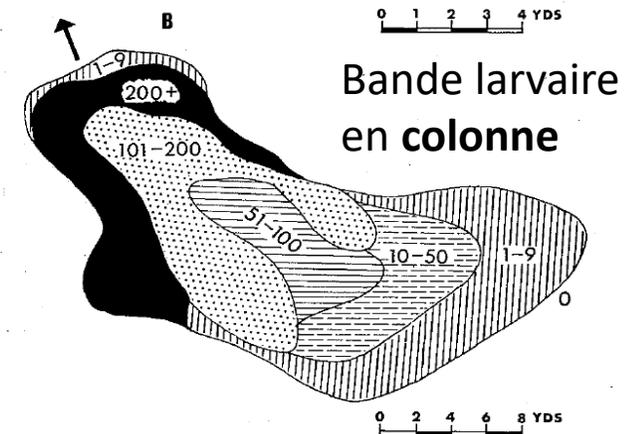
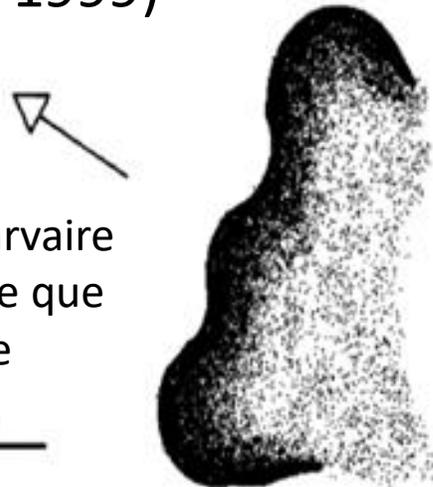


Tache larvaire



Bande larvaire plus large que profonde

50 m



Bande larvaire en colonne

II. Comportements de mouvements collectifs

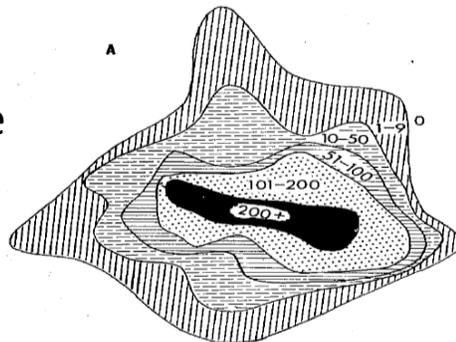
- Thèse de Jamila Dkhili



- Importance des interactions locales dans la formation des « faits stylisés » observés à l'échelle des groupes ?
- Rôle de la végétation dans les déplacements des bandes larvaires ?
- Capacité de prévision de la direction des bandes larvaires ?

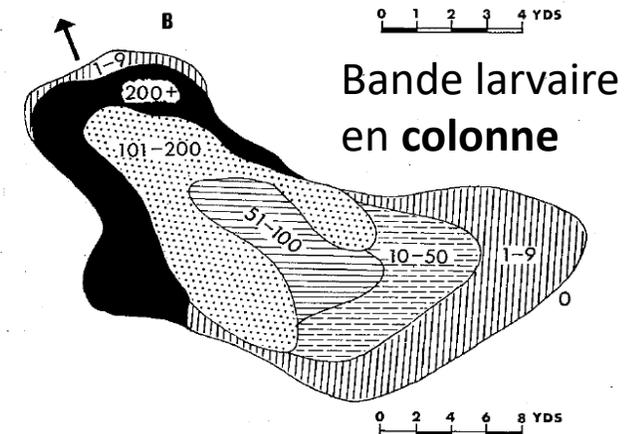
Faits stylisés:

Tache larvaire



Bande larvaire plus large que profonde

50 m



II. Comportements de mouvements collectifs

- Thèse de Jamila Dkhili



- Pattern-oriented modelling avec 5 critères

Polarisation: variabilité d'alignement dans un groupe en mouvement

$$\varphi = \sqrt{\left(\frac{\sum_i^N \sin H_i}{N}\right)^2 + \left(\frac{\sum_i^N \cos H_i}{N}\right)^2}; (H_i: \text{orientation de l'individu } i)$$

Distribution de densité:

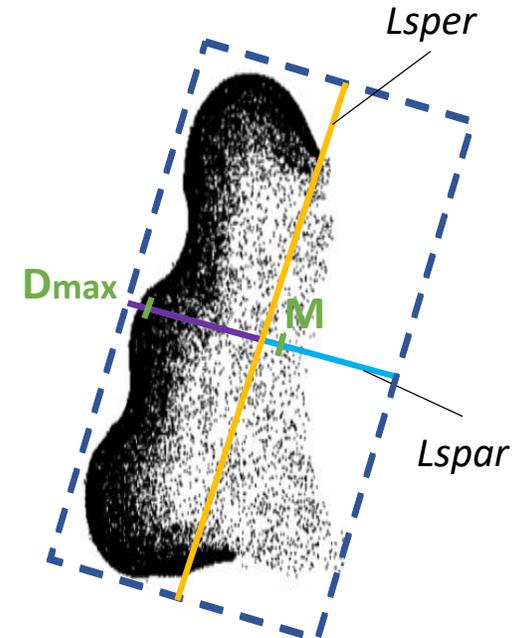
Pente de densité à travers le groupe (D_s)

Pente de densité sur la moitié du groupe (DH_s)

Rapport de densité entre le front et l'arrière:

$$lind = \frac{Densité(M)}{Densité(max)}$$

Rapport de forme: $Sr = \frac{Lsper}{Lspar}$



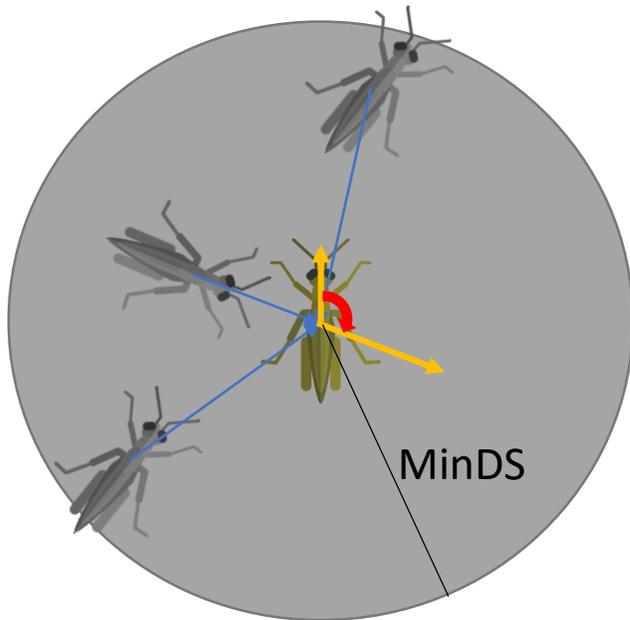
	D_s	DH_s	$lind$	Sr	φ
Bande	< 0	≤ 0	$\leq 1/3$	< 1	> 0.75
Colonne				> 1	> 0.75
Tâche	≈ 0	≥ 0		≈ 1	≤ 0.5

II. Comportements de mouvements collectifs

- Thèse de Jamila Dkhili
- Adaptation du Modèle de Reynolds (1987)



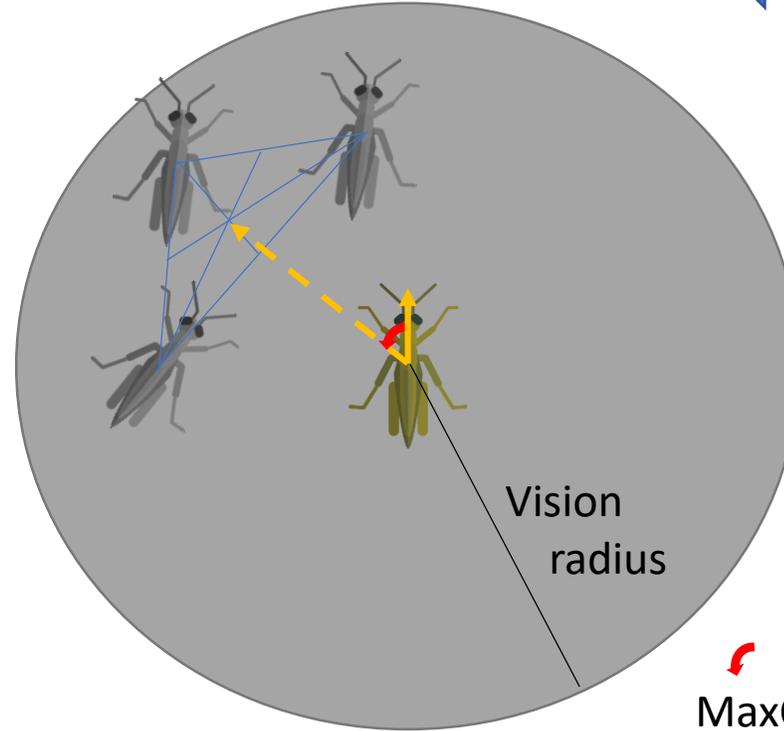
Séparation
(évitement du plus proche voisin)



MaxS

(angle max de séparation)

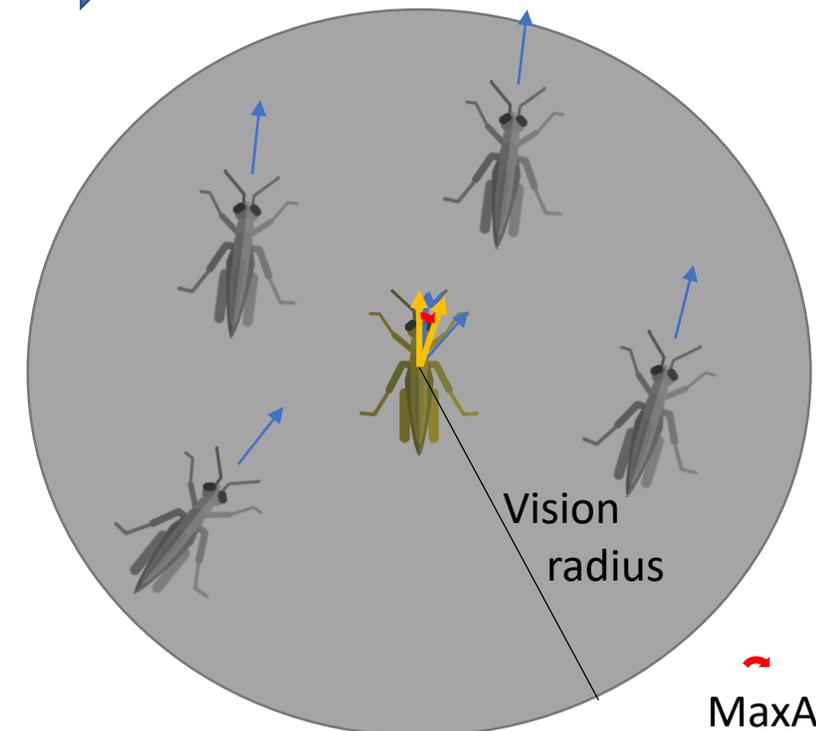
Cohésion



MaxC

(angle max de cohésion)

Alignement



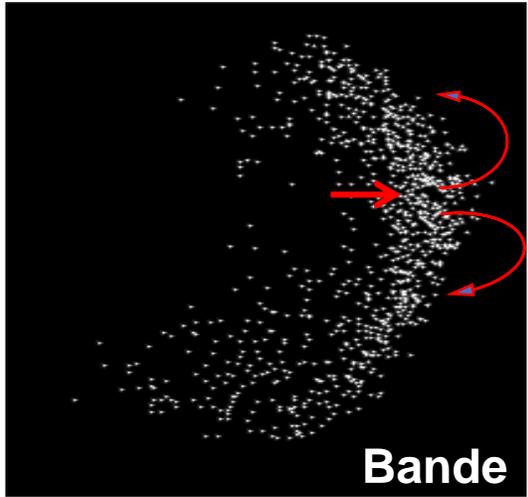
MaxA

(angle max d'alignement)

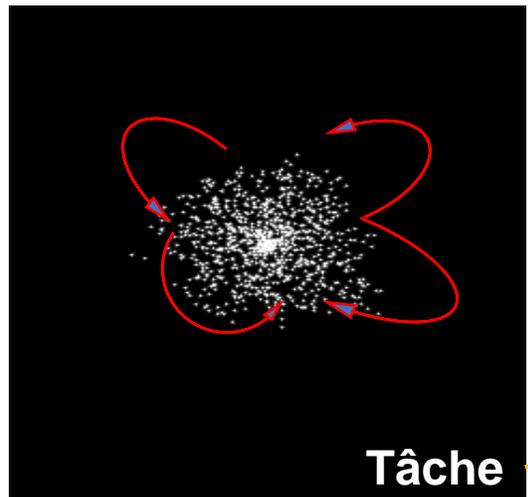


II. Comportements de mouvements collectifs

- Thèse de Jamila Dkhili

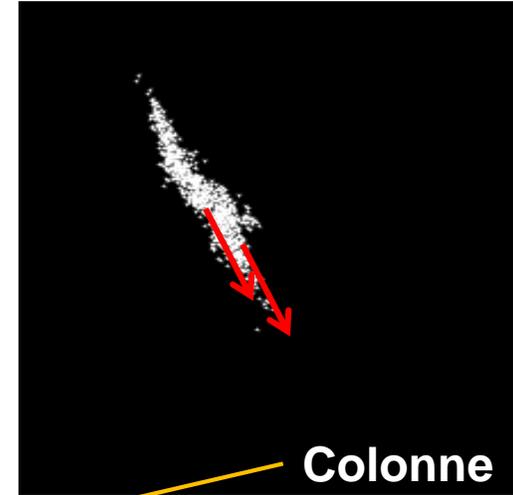
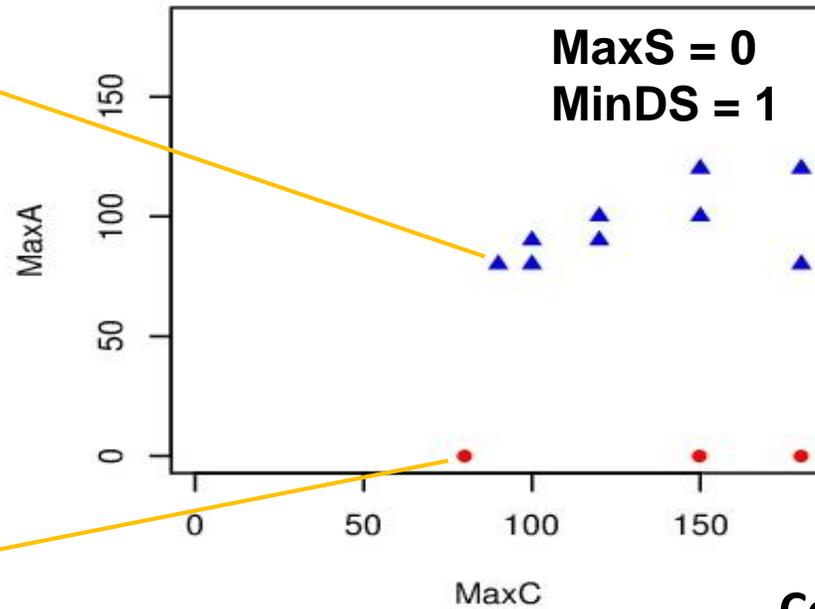


Bande

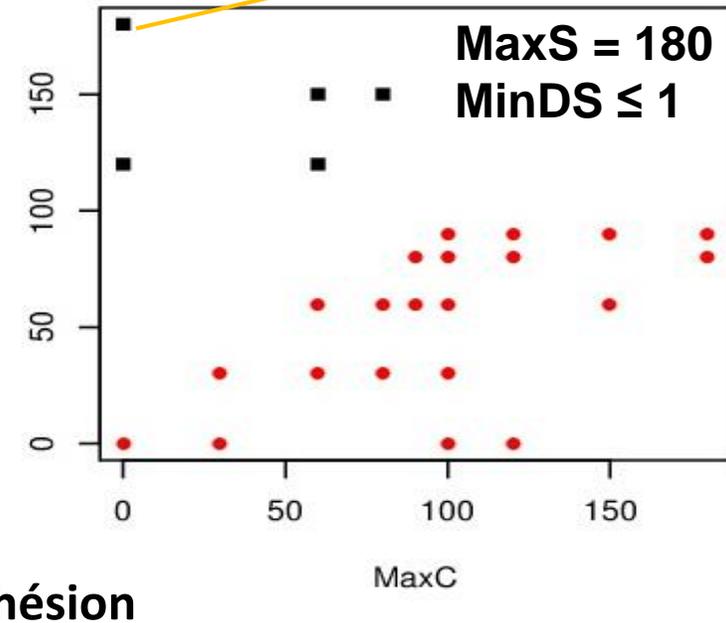


Tâche

Alignement

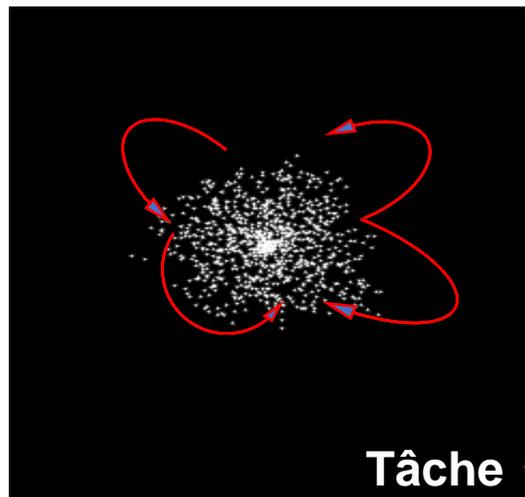
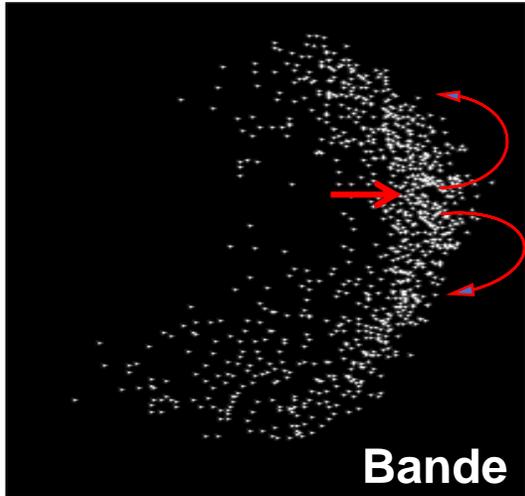
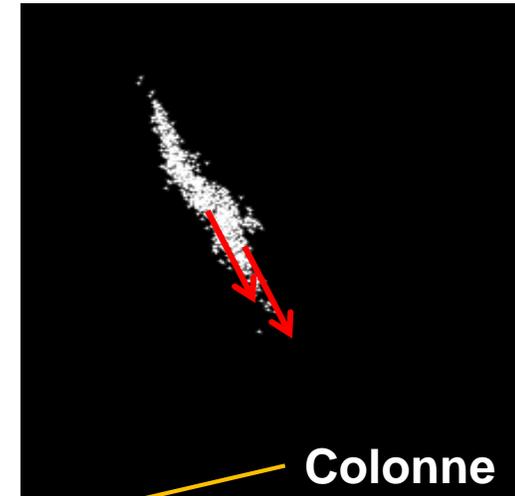


Colonne



II. Comportements de mouvements collectifs

- Thèse de Jamila Dkhili



Leçon: Les **bandes** n'apparaissent qu'avec un compromis équilibré de forces d'alignement et cohésion qui n'ont plus lieu lorsqu'un voisin est trop près

Ecological Modelling 361 (2017) 26–40



Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Modelling

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecoolmodel

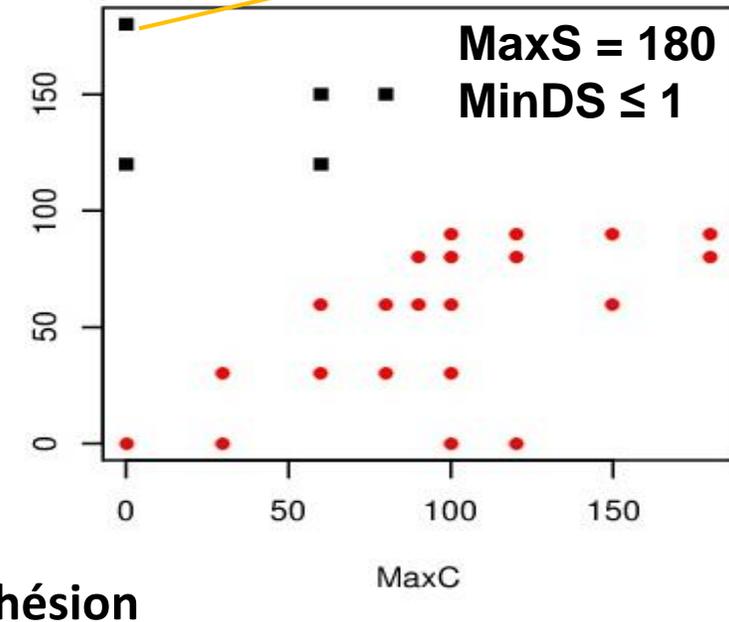
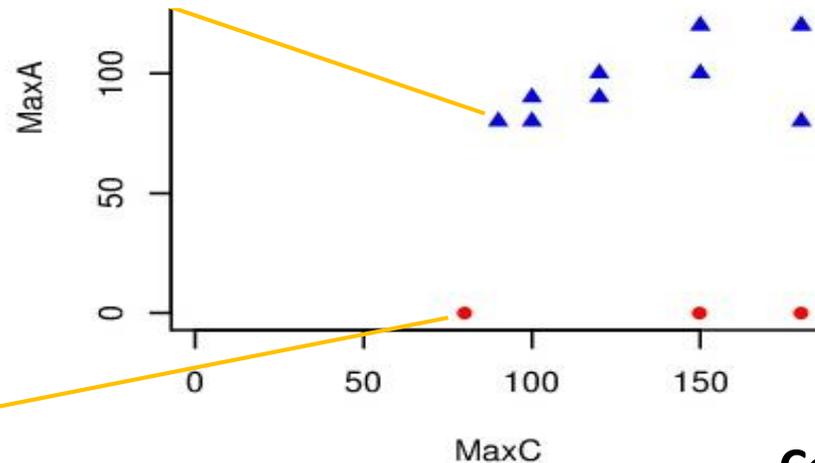


Self-organized spatial structures of locust groups emerging from local interaction



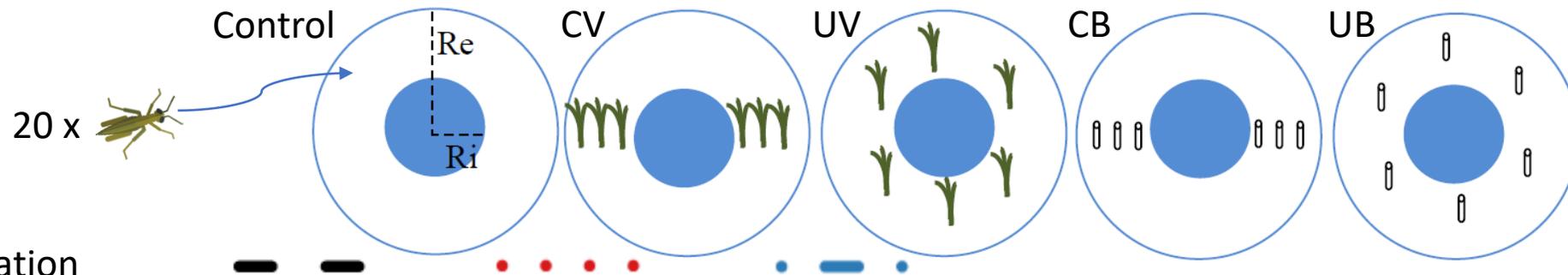
Jamila Dkhili^{a,b,c,*}, Uta Berger^d, Lalla Mina Idrissi Hassani^a, Saïd Ghaout^c, Ronny Peters^d, Cyril Piou^{a,b,c}

Alignemen

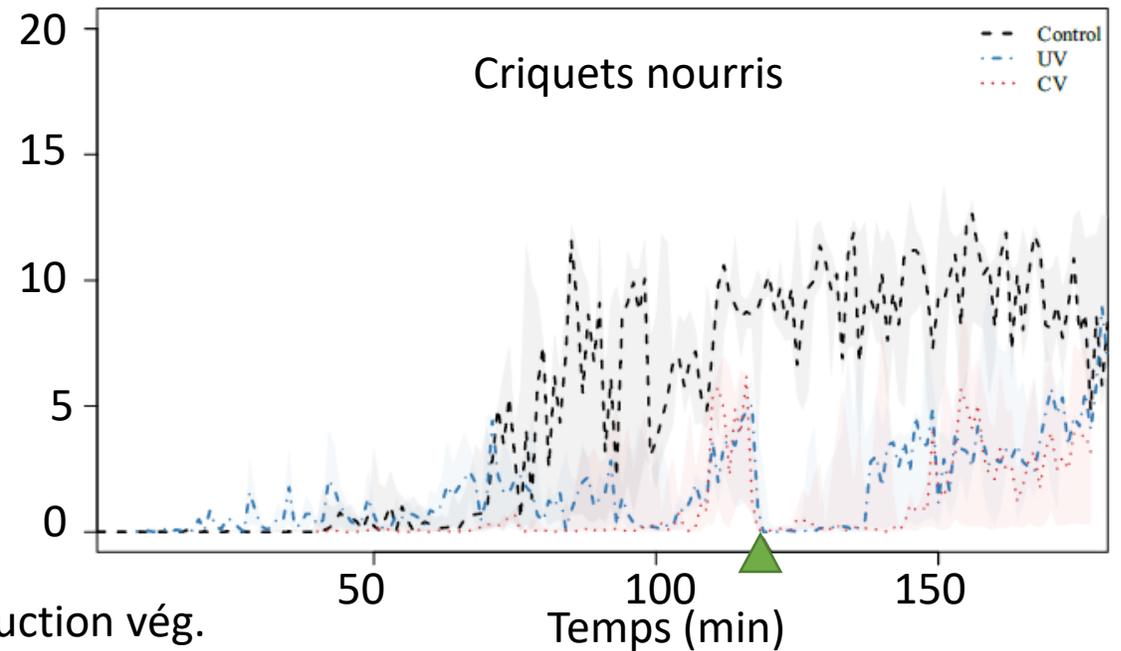
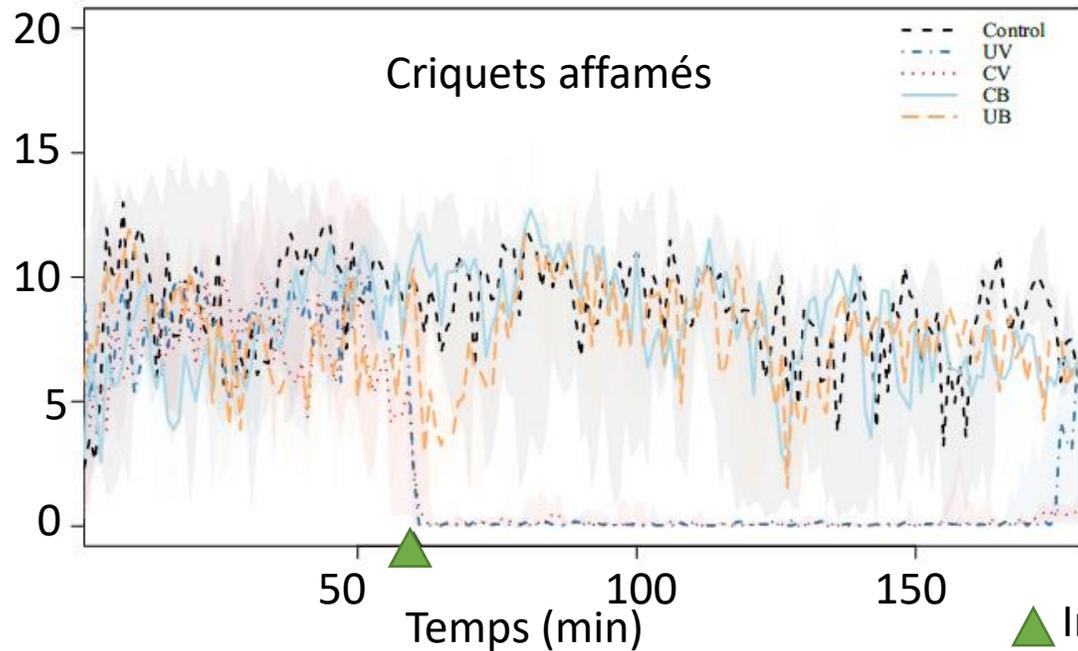


II. Comportements de mouvements collectifs

- Thèse de Jamila Dkhili
- Expérimentations en laboratoire

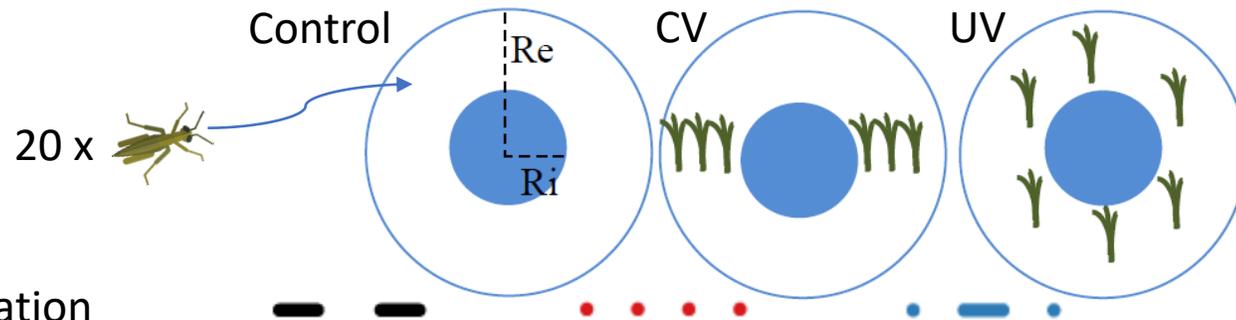


Polarisation



II. Comportements de mouvements collectifs

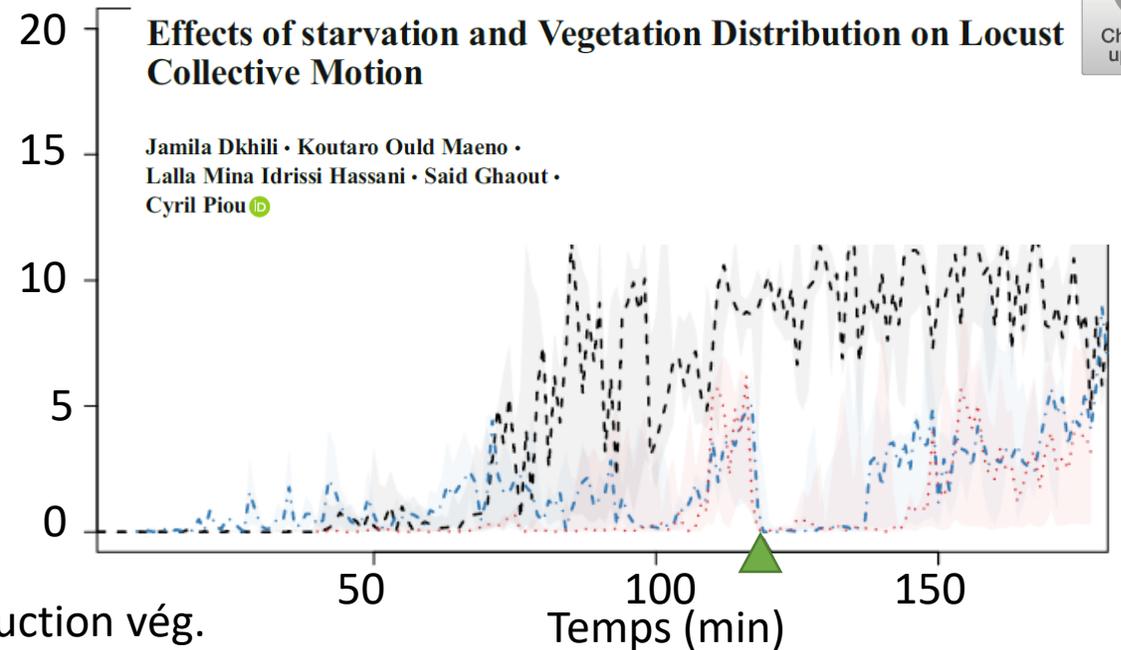
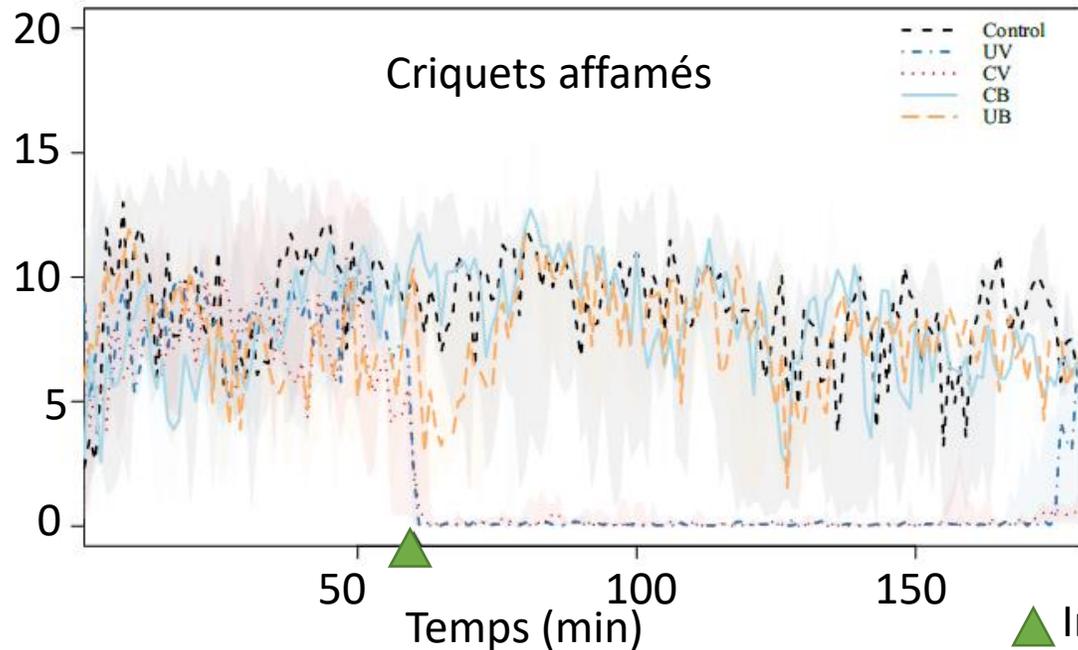
- Thèse de Jamila Dkhili
- Expérimentations en laboratoire



Leçons: La recherche de nourriture n'est pas l'élément déclencheur de la marche, mais la faim motive l'arrêt pour s'alimenter

J Insect Behav (2019) 32:207–217
<https://doi.org/10.1007/s10905-019-09727-8>

Polarisation



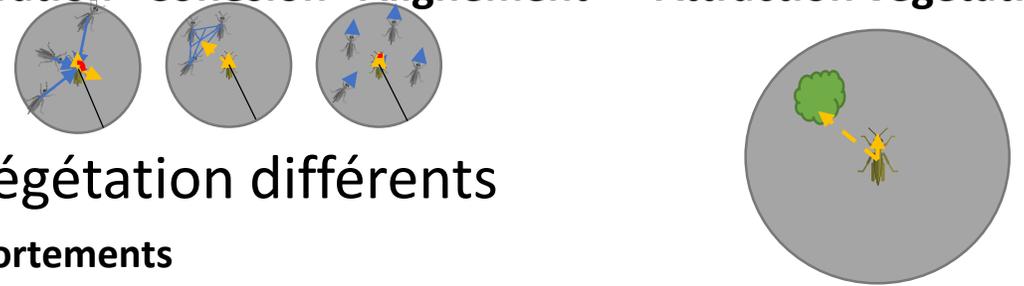
II. Comportements de mouvements collectifs

- Thèse de Jamila Dkhili

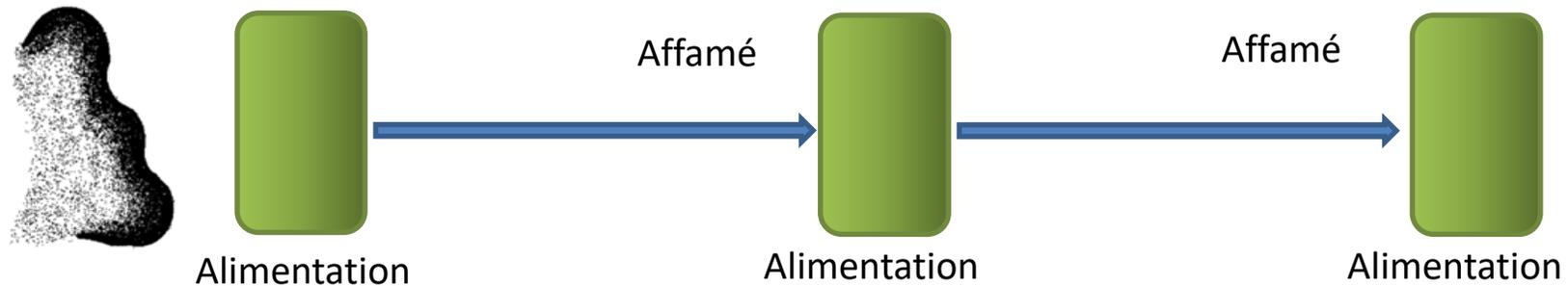
- Intégration de l'effet végétation dans le modèle ABM
- Reproduction des expériences de labo
- Exploration de structure de paysage de végétation différents



Séparation Cohésion Alignement + Attraction végétation



Synchronisation des comportements

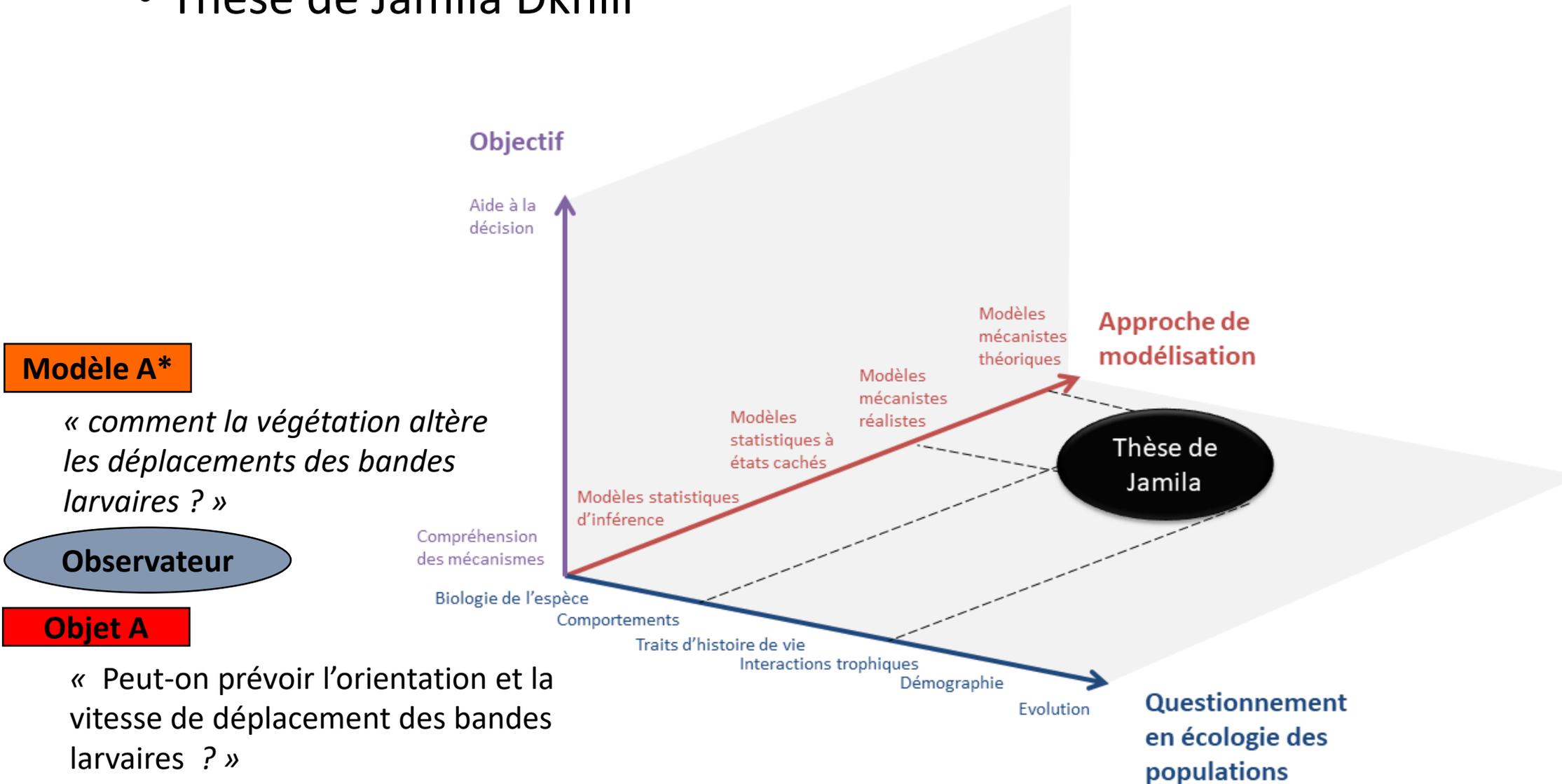


Désynchronisation des comportements



II. Comportements de mouvements collectifs

- Thèse de Jamila Dkhili



II. Comportements de mouvements collectifs

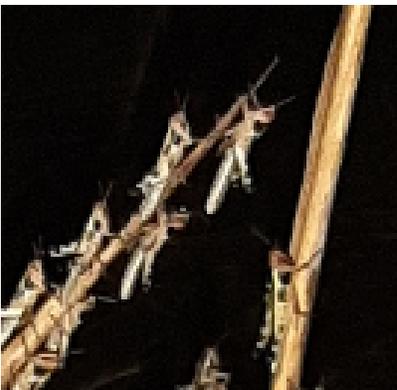
- Observations terrains

- (Ellis & Aschall 1957)
- Maeno et al. 2021
- Piou et al. 2022



②

Réchauffement en groupe



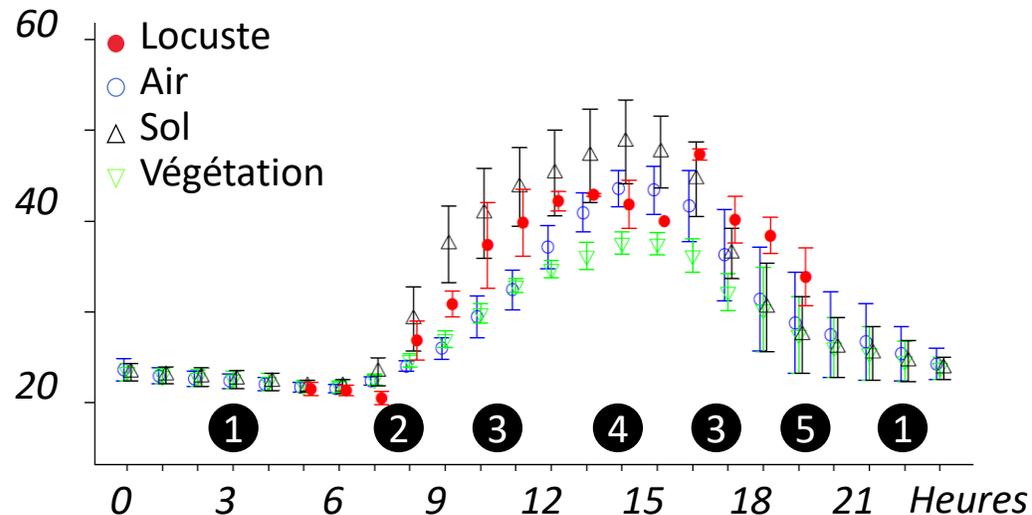
①

Nuit dans la végétation



③

Température Marche



④

Evitement de la chaleur



⑤

Montée dans la végétation

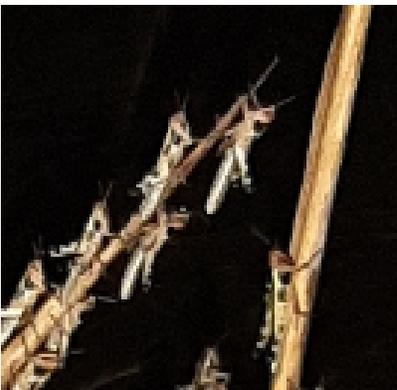
II. Comportements de mouvements collectifs

- Observations terrains

- (Ellis & Aschall 1957)
- Maeno et al. 2021
- Piou et al. 2022



② Réchauffement en groupe



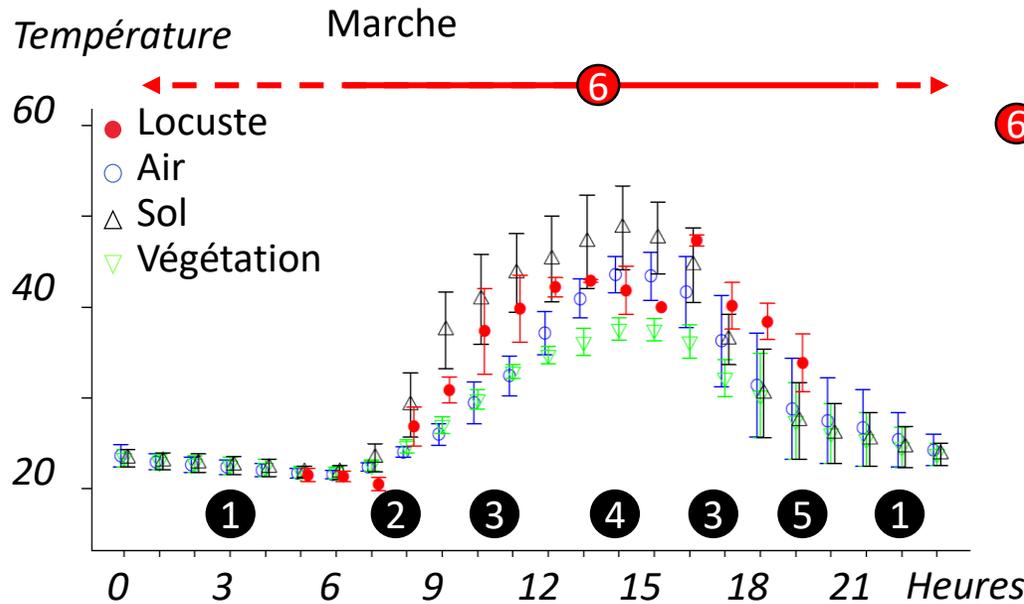
① Nuit dans la végétation



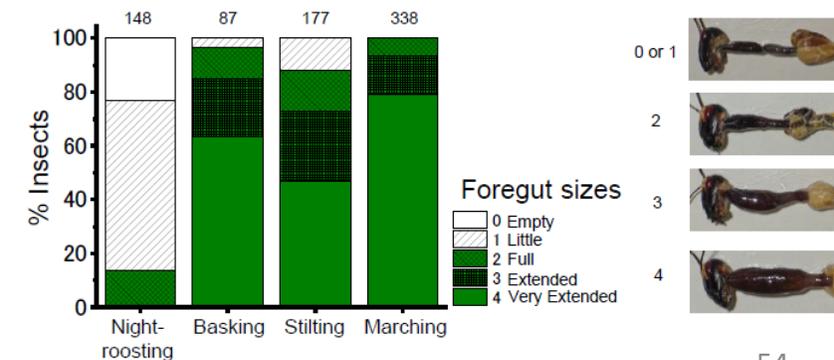
③



⑥

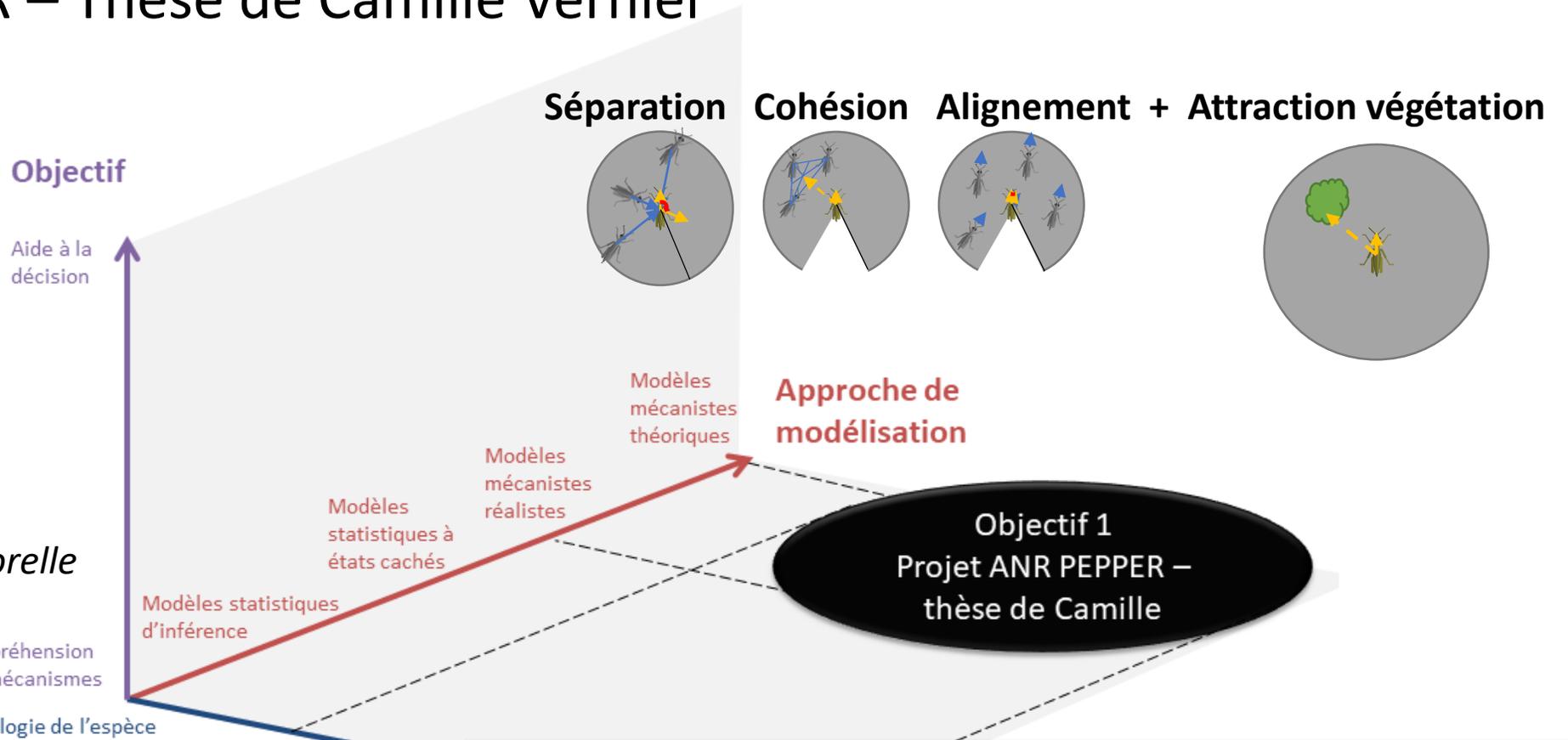


Alimentation
Contenus stomachaux « égalitaires » (Gini < 0.13)



II. Comportements de mouvements collectifs

- Projet PEPPER – Thèse de Camille Vernier



A*

« sous quelles conditions de distribution spatiale et temporelle de ressource végétale le comportement de marche collective des locustes est favorisé ? »

A

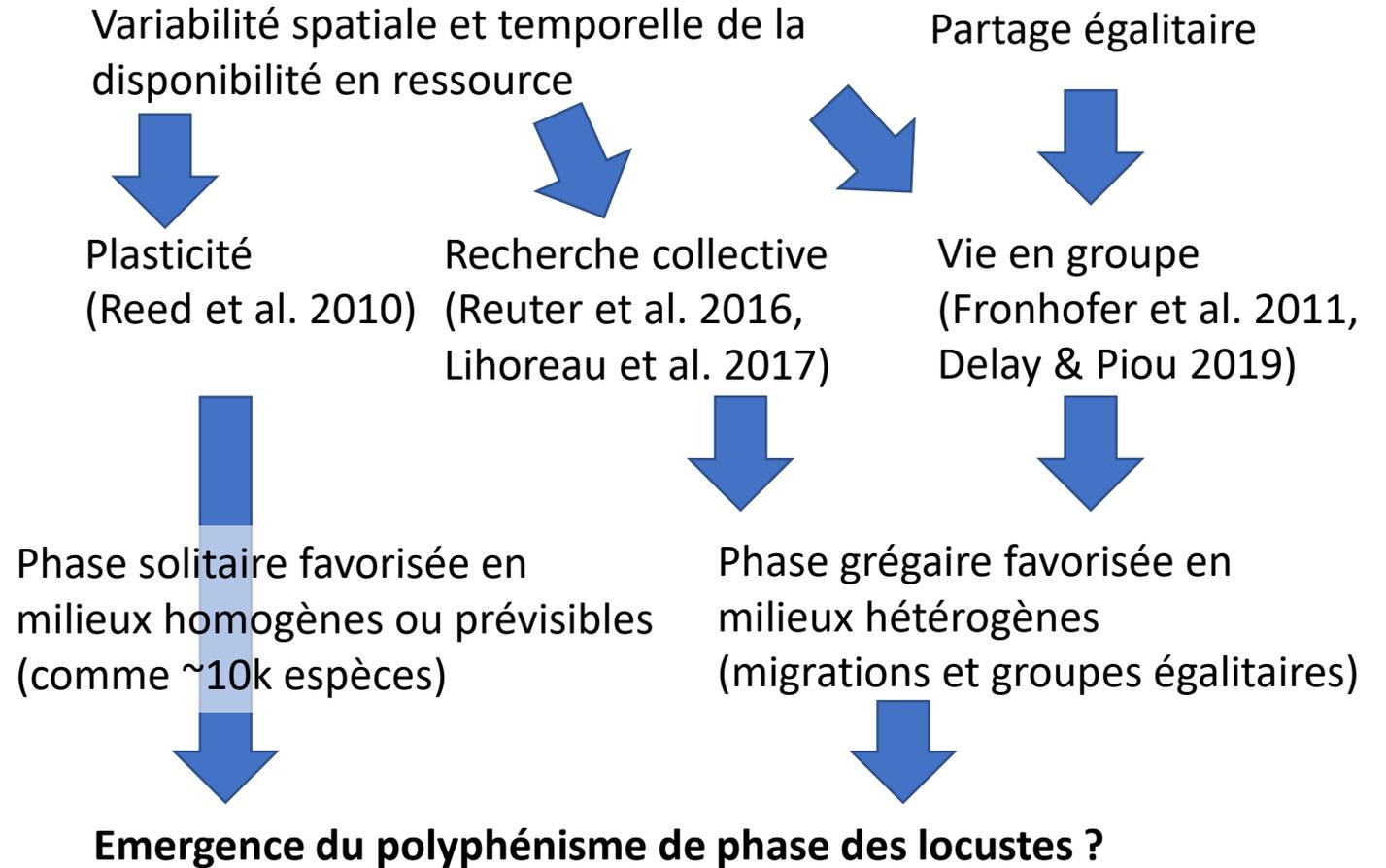
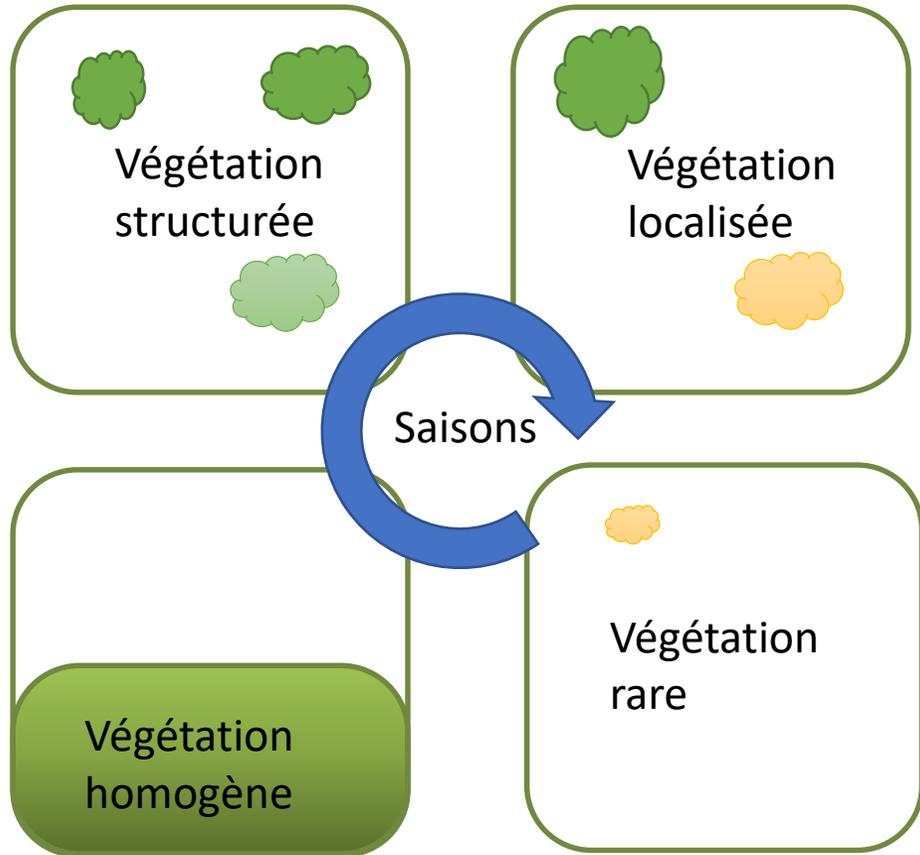
« Peut-on prévoir l'orientation et la vitesse de déplacement des bandes larvaires ? »

	Ds	DHs	lind	Sr	φ	Gini
Bande	< 0	≤ 0	≤ 1/3	< 1	> 0.75	<0.13

en écologie des populations

II. Comportements de mouvements collectifs

- **Projet PEPPER – Evolution du polyphénisme de phase**



Conclusions

Une approche multi-points de vue
pour étudier les locustes



Les locustes posent de nombreuses questions...

A1. où et quand peut arriver la grégarisation ?

A2. quels sont les seuils de densité de grégarisation ?

A3. quelles réductions de population pour éviter les impacts ?

B1. quels liens plantes-insectes favorisent la grégarisation ?

B2. quels facteurs influencent les migrations ?

B3. comment la perception influencent les dynamiques ?

C1. quels mécanismes modifiant les traits phasaires ?

C2. quels mécanismes de mouvement de groupe ?

E1. quels mécanismes de transmission des traits phasaires ?

E2. quels avantages évolutifs des deux phases ?

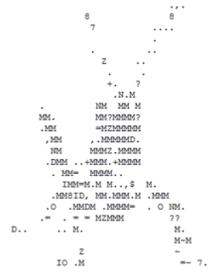
Questions Appliquées



Facteurs environnementaux

Facteurs intrinsèques

I. Modélisation pour la prévision du risque acridien



II. Comportements de mouvements collectifs



Evolution du polyphénisme

Les locustes posent de nombreuses questions...

A1. où et quand peut arriver la grégarisation ?
A2. quels sont les seuils de densité de grégarisation ?
A3. quelles réductions de population pour éviter les impacts ?

B1. quels liens plantes-insectes favorisent la grégarisation ?
B2. quels facteurs influencent les migrations ?
B3. comment la perception influencent les dynamiques ?

C1. quels mécanismes modifiant les traits phasaires ?
C2. quels mécanismes de mouvement de groupe ?

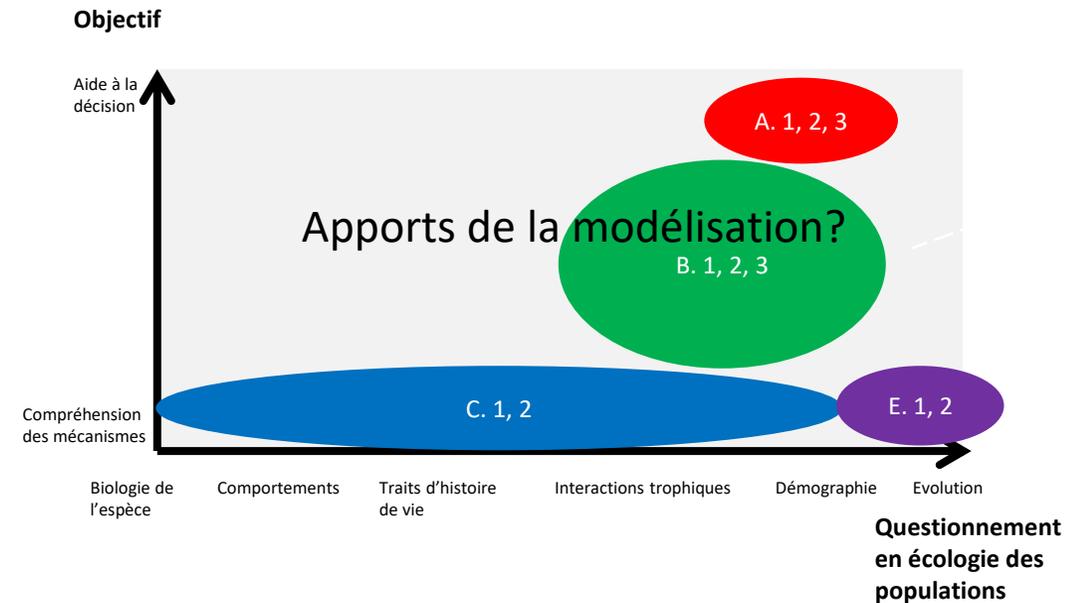
E1. quels mécanismes de transmission des traits phasaires ?
E2. quels avantages évolutifs des deux phases ?

Questions Appliquées



Facteurs environnementaux

Facteurs intrinsèques

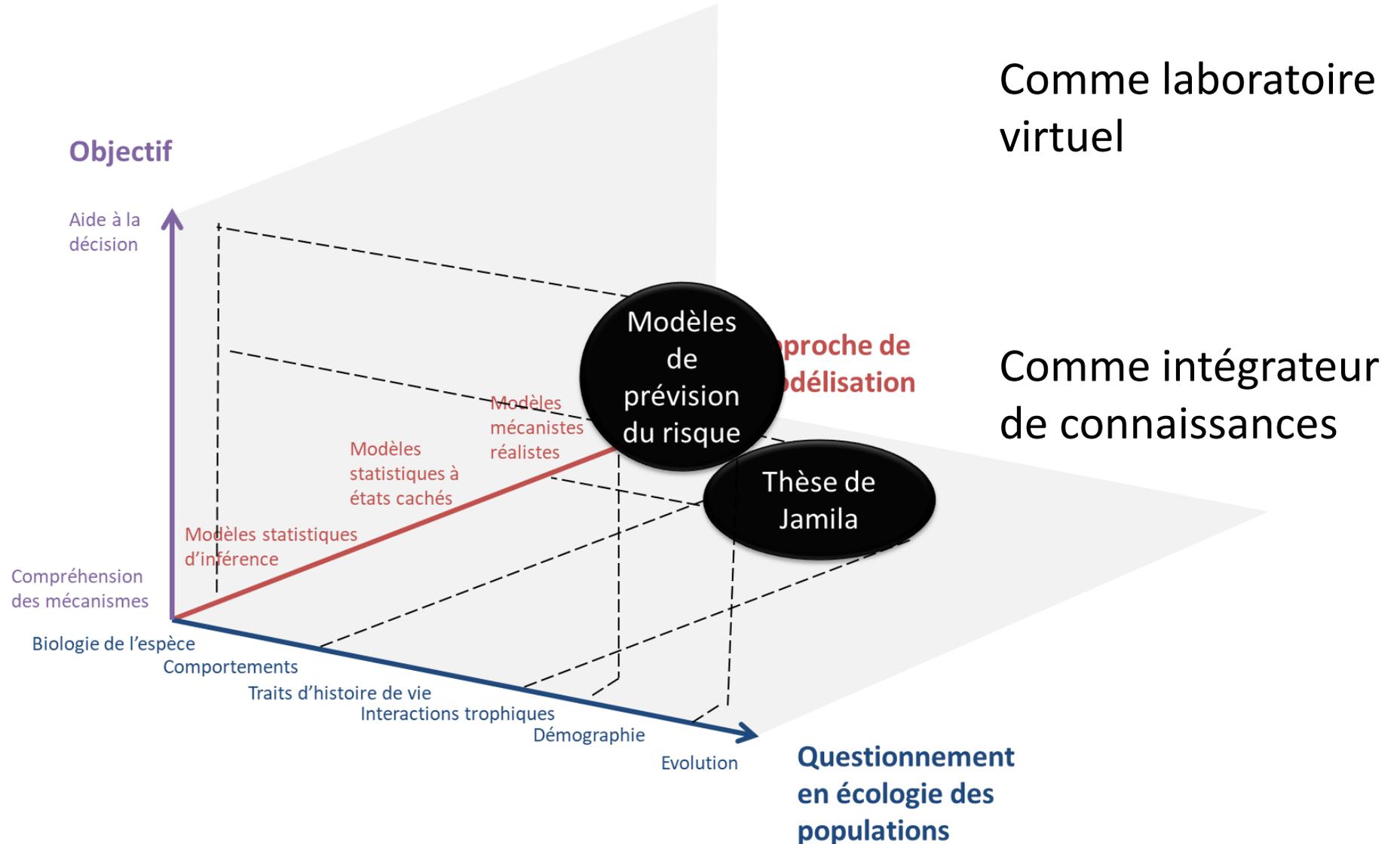


Evolution du polyphénisme

... la modélisation aide à répondre à ces questions...

- Modèles:

Comme outils développés avec et pour les partenaires

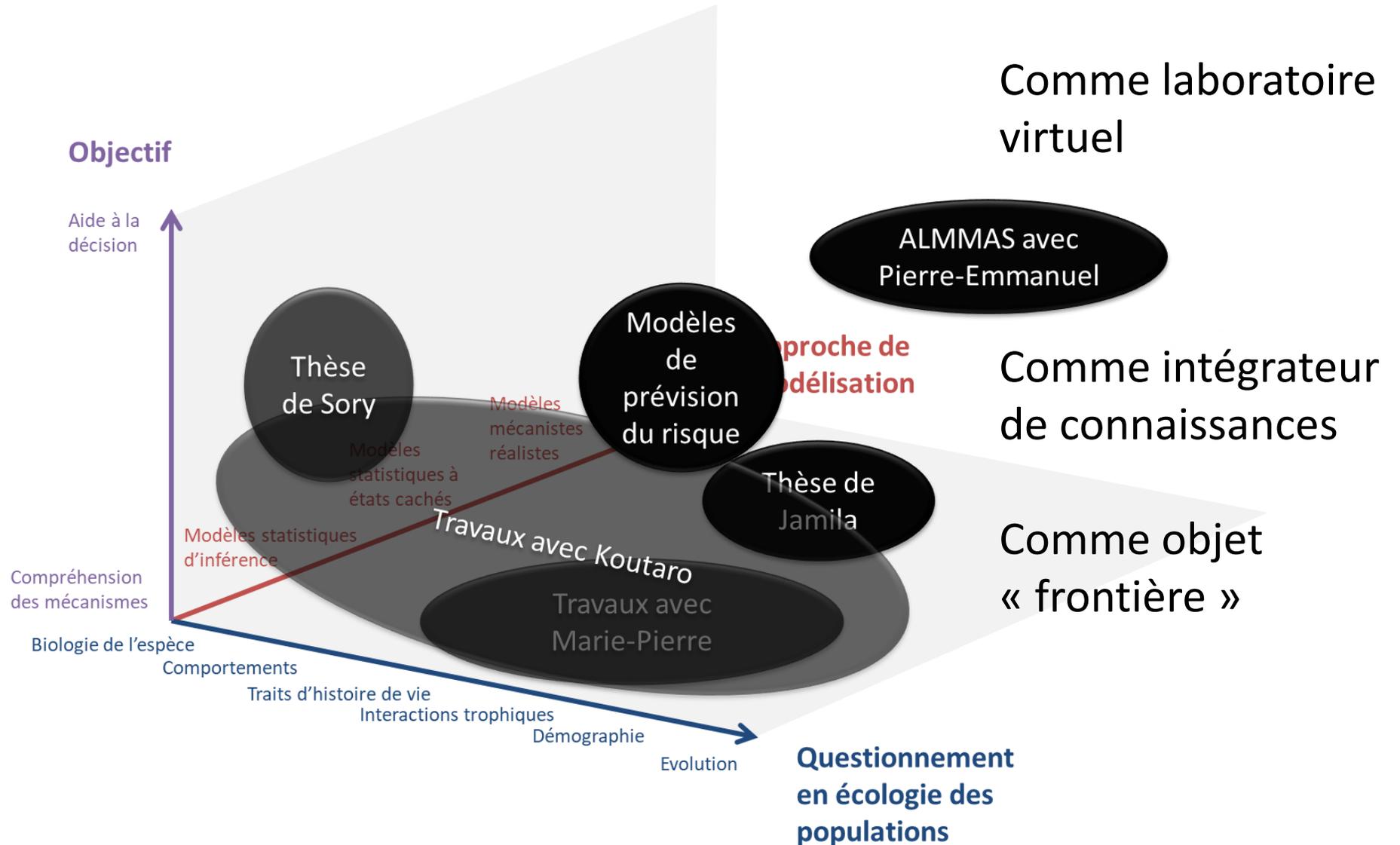


... la modélisation aide à répondre à ces questions...

- Modèles:

Comme outils développés avec et pour les partenaires

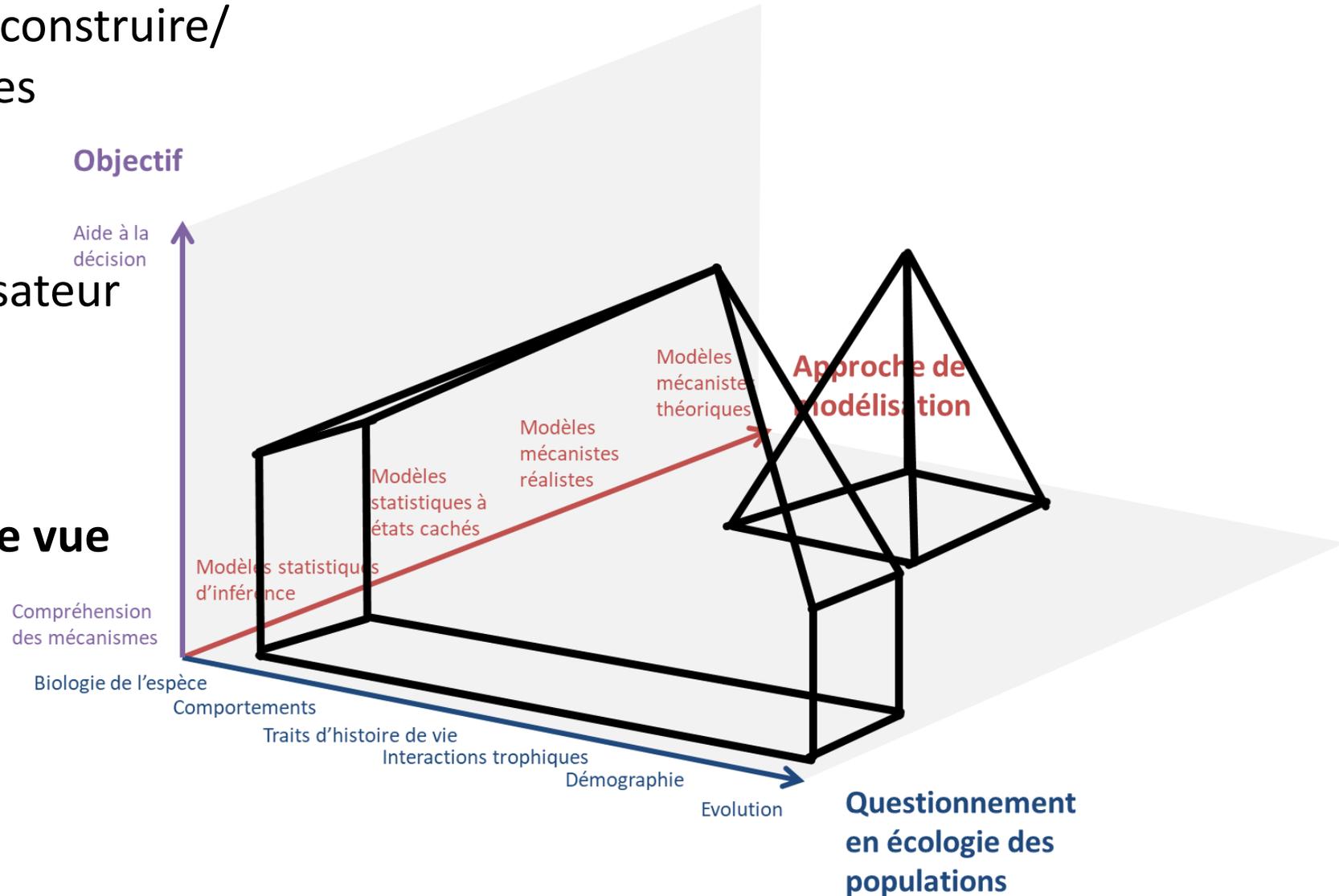
Comme outils de vérification d'hypothèses



... les connaissances améliorent la gestion...

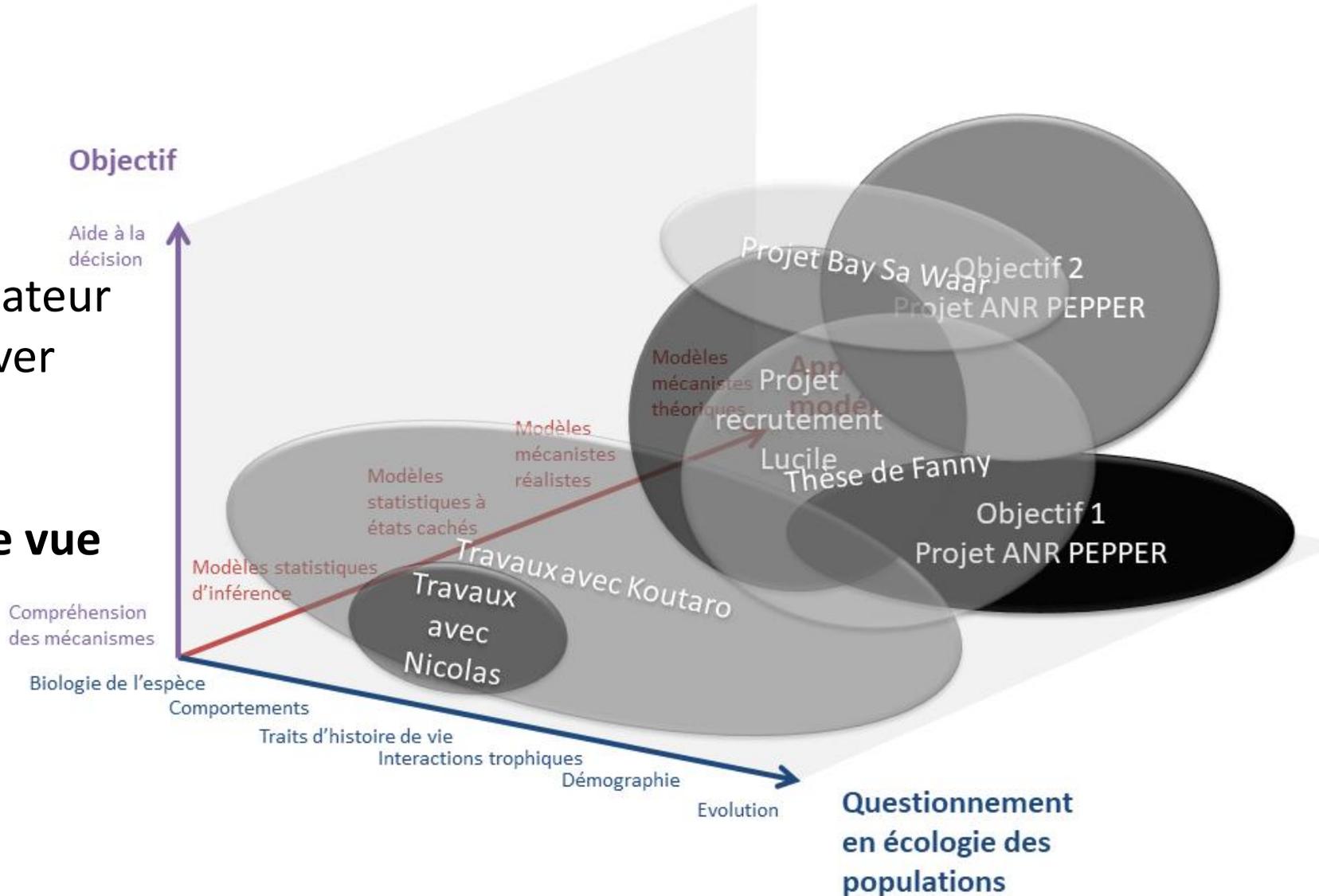
Besoin des connaissances
écologiques pour construire/
vérifier les modèles

Le rôle de modélisateur
a générée
une approche
interdisciplinaire
→ **multi-points de vue**



... locustes + modèles = projets variées...

Le rôle de modélisateur permet de conserver une approche interdisciplinaire
→ **multi-points de vue**

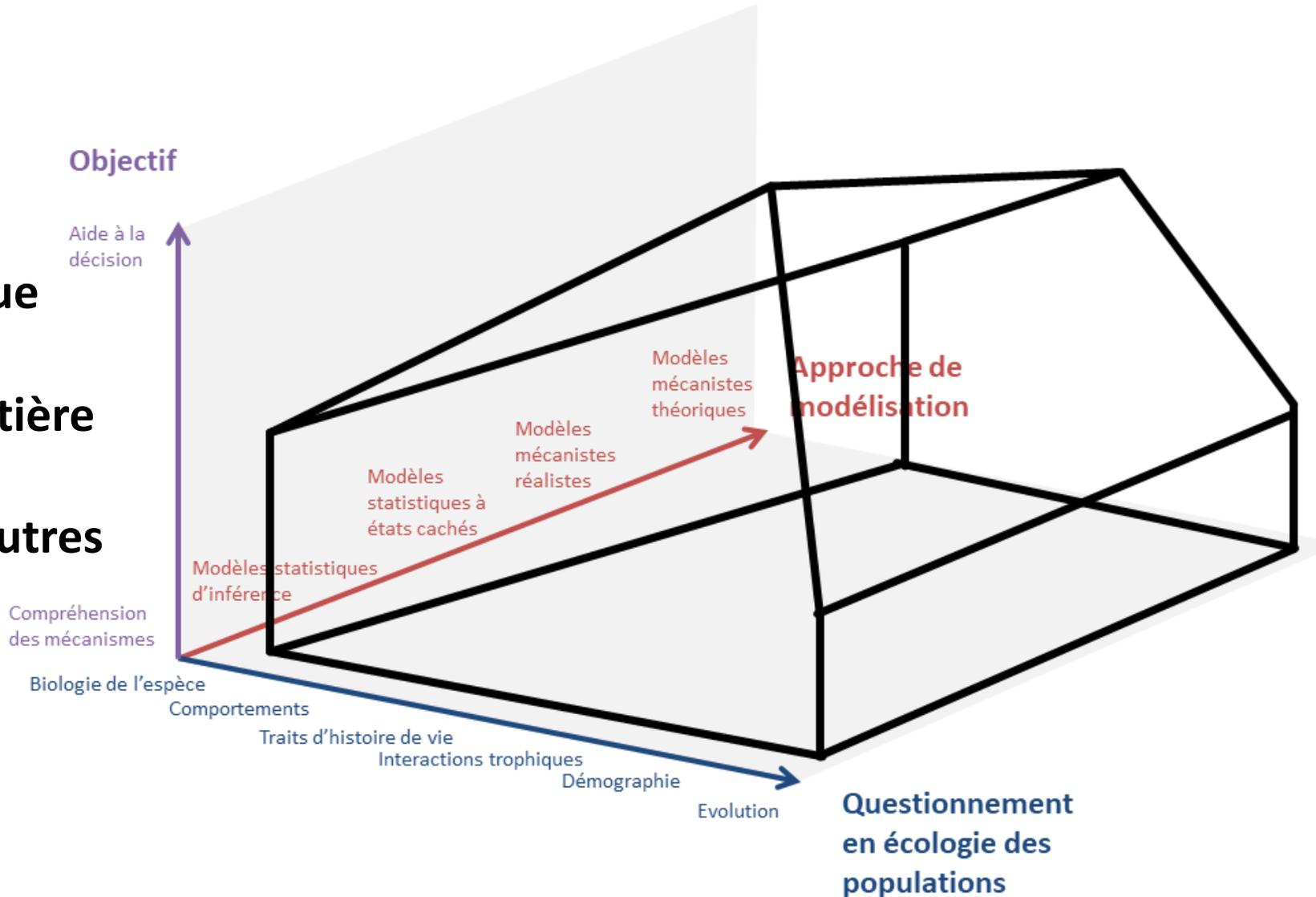


... ce qui crée une « jolie » maison!

Multi-points de vue

Fondations → Faîtière

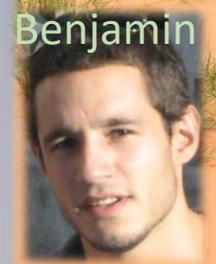
Peut accueillir d'autres espèces...



2012



Sory

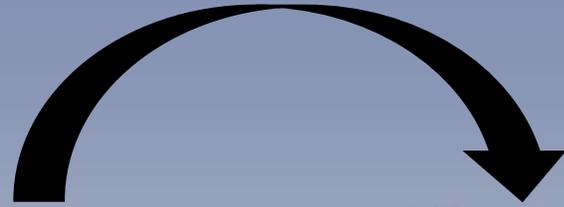


Benjamin



Michel

Gregarisation



2012



Sory

Amina



Fanny



Lucile



Antoine



Nicolas



2021

Koutaro



Jamila



Esther



Manu



Camille



Marie-Pierre



Christine



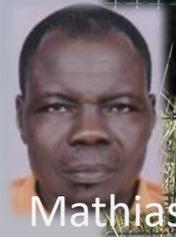
Hélène



Maeva



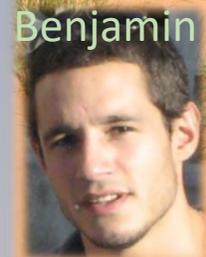
Mathias



Michel



Benjamin



Merci aux étudiant.e.s et postdocs co-encadré.e.s
et à tou.te.s les collègues m'ayant soutenus ces 12
dernières années...



Thibaud R., Valentine L., Jean-Michel V., Christine P., Hélène J., Christophe E., Laure B., Jean-Pierre R., Flavi V., Renaud V., Nathalie V., Odile F., Regis B., Leïla B.B., Thierry B., Simon F., Daniel B., Thierry L., Florence B., Servane B., Uta B., Etienne P., Volker G., Candy F., Jean-Pierre M., Christophe L-P., Bruno B., Etienne D., Mathieu B., Maria-José E., Olivier M., Vitalii A., M. Jaavar, MAOB, Ahmed Salem B., M. Lemine H., Dominique M., Annie M., Saïd G., Saïd L., Thami B.H., Badr. E.G., Jamal C., Moha B., M. Lazar, Khaled M., Hichem D., Eduardo T., Hector M., et les prospecteurs de la lutte antiacridienne et langosteros!

Merci aux membres du jury:

Annelise Tran

Elodie Vercken

Guy Theraulaz

Olivier Gimenez

Raphaël Duboz

Sébastien Ibanez

Thibaud Monnin

Et merci à tous pour
votre attention!



Annexes

Références bibliographique (par ordre d'apparition)

1. Minsky, M. 1965. Matter, mind and models. Pages 45–49 in I. F. o. I. P. Congress, editor. Proceedings of IFIP Congress.
2. Uvarov, B. P. 1921. A Revision of the Genus *Locusta* L. (= *Pachytylus*, Fieb.), with a New Theory as to the Periodicity and Migrations of Locusts. Bulletin of Entomological Research **12**:135-163.
3. Uvarov, B. P. 1923. Notes on locusts of economics importance, with some new data on the periodicity of locust invasion. Bulletin of Entomological Research **14**:31-39.
4. Sword, G. A., M. Lecoq, and S. J. Simpson. 2010. Phase polyphenism and preventative locust management. Journal of Insect Physiology **56**:949-957.
5. Launois, M. 1984. Les biomodèles à géométrie variable appliqués à la surveillance des criquets ravageurs. Agronomie Tropicale **39**:269-274.
6. Launois, M., and M. Lecoq. 1990. Biomodélisation et stratégies de lutte antiacridienne en Afrique et à Madagascar. Mededelingen Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent **55**:225-234.
7. Axelsen, J. A., B. S. Petersen, I. H. Maiga, A. Niassy, K. Badji, Z. Ouambama, M. Sønderskov, and C. Kooyman. 2009. Simulation studies of Senegalese grasshopper ecosystem interactions II : the role of egg pod predators and birds. International Journal of Pest Management **55**:99-112.
8. Cheke, R. A., and J. Holt. 1993. Complex dynamics of Desert locust plagues. Ecological Entomology **18**:109-115.
9. Tratalos, J. A., R. A. Cheke, R. G. Healey, and N. C. Stenseth. 2010. Desert locust populations, rainfall and climate change: insights from phemenological models using gridded monthly data. Climate Research **43**:229-239.
10. Pékel, J. F., P. Ceccato, C. Vancutsem, K. Cressman, E. Vanbogaert, and P. Defourny. 2010. Development and application of multi-temporal colorimetric transformation to monitor vegetation in Desert locust habitat. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing **4**:318-326.
11. Piou, C., V. Lebourgeois, A. S. Benahi, V. Bonnal, M. E. H. Jaavar, M. Lecoq, and J.-M. Vassal. 2013. Coupling historical prospection data and a remotely-sensed vegetation index for the preventative control of Desert locusts. Basic and Applied Ecology **14**:593-604.
12. Piou, C., P.-E. Gay, A. S. Benahi, M. A. O. Babah Ebbe, J. Chihrane, S. Ghaout, S. Cisse, F. Diakite, M. Lazar, K. Cressman, O. Merlin, and M.-J. Escorihuela. 2019. Soil moisture from remote sensing to forecast desert locust presence. Journal of Applied Ecology **56**:966-975.
13. Reus, J. A. W. A., and P. M. Symmons. 1992. A model to Predict the Incubation and Nymphal Development Periods of the Desert locust, *Schistocerca gregaria* (Orthoptera : Acrididae). Bulletin of Entomological Research **82**:517-520.
14. Chapuis, M.-P., B. Péliissié, C. Piou, F. Chardonnet, C. Pagès, A. Foucart, E. Chapuis, and H. Jourdan-Pineau. 2021. Additive genetic variance for traits least related to fitness increases with environmental stress in the desert locust, *Schistocerca gregaria*. Ecology and Evolution **11**:13930– 13947.
15. Maeno, K. O., C. Piou, M. R. Kearney, S. O. Ely, S. A. O. Mohamed, M. E. H. Jaavar, and M. A. O. Babah Ebbe. 2021. A general model of the thermal constraints on the world's most destructive locust, *Schistocerca gregaria*. Ecological Applications **31**:e02310.
16. Cisse, S., S. Ghaout, A. Mazih, M. A. O. Babah Ebbe, A. S. Benahi, and C. Piou. 2013. Effect of vegetation on density thresholds of adult desert locust gregarization from survey data in Mauritania. Entomologia Experimentalis et Applicata **149**:159-165.

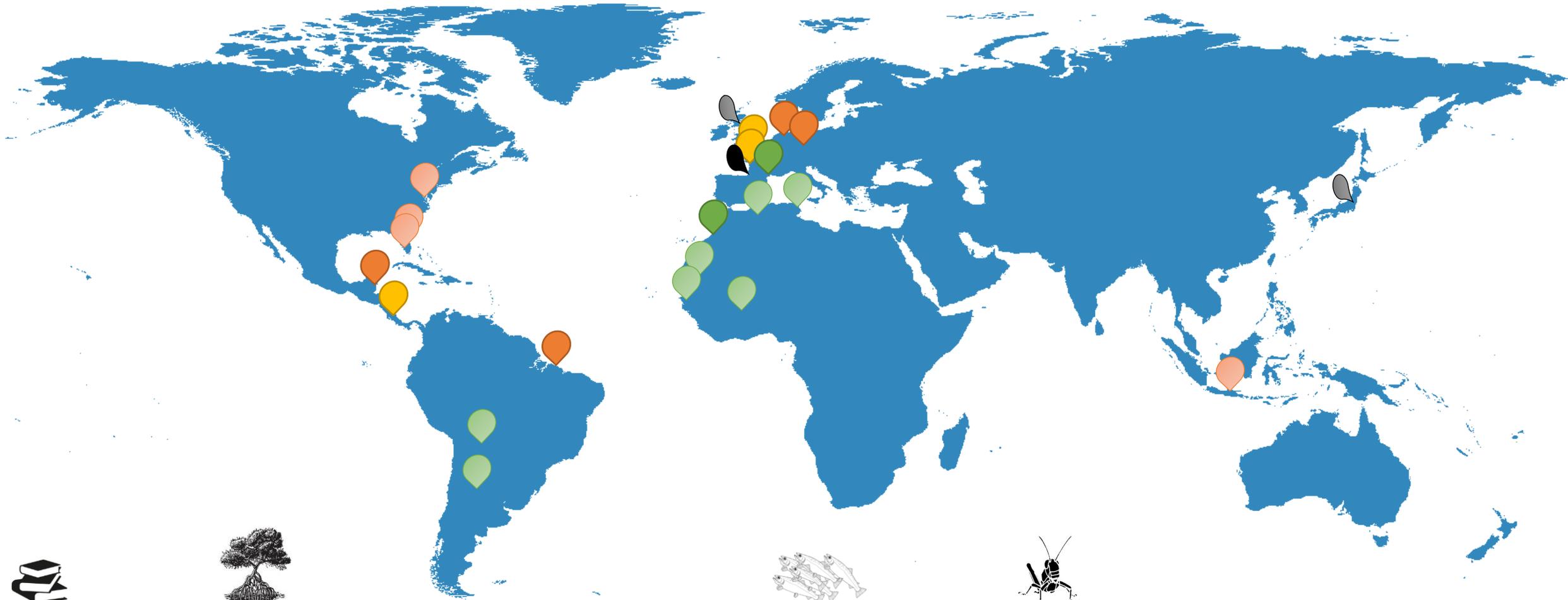
Références bibliographique (par ordre d'apparition)

17. Cisse, S., S. Ghaout, A. Mazih, M. A. Ould Babah Ebbe, and C. Piou. 2015. Estimation of density threshold of gregarization of desert locust hoppers from field sampling in Mauritania. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **156**:136-148.
18. Buhl, J., D. J. T. Sumpter, I. D. Couzin, J. J. Hale, E. Despland, E. R. Miller, and S. J. Simpson. 2006. From disorder to order in marching locusts. *Science* **312**:1402-1406.
19. Bazazi, S., J. Buhl, J. J. Hale, M. L. Anstey, G. A. Sword, and I. D. Couzin. 2008. Collective motion and cannibalism in locust migratory bands. *Current Biology* **18**:735-739.
20. Guttal, V., P. Romanczuk, S. J. Simpson, G. A. Sword, and I. D. Couzin. 2012. Cannibalism can drive the evolution of behavioural phase polyphenism in locusts. *Ecology Letters* **15**:1158-1166.
21. Buhl, J., G. Sword, F. Clissold, and S. Simpson. 2011. Group structure in locust migratory bands. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **65**:265-273.
22. Lecoq, M., A. Foucart, and G. Balança. 1999. Behaviour of *Rhammatocerus schistocercoides* (Rehn, 1906) hopper bands in Mato Grosso, Brazil (Orthoptera : Acrididae : Gomphocerinae). *Annales de la Société Entomologique de France (nouvelle série)* **35**:217-228.
23. Reynolds, C. W. 1987. Flocks, herds and schools: a distributed behavioral model. *Computer Graphics* **21**:25-34.
24. Dkhili, J., U. Berger, L. M. Idrissi Hassani, S. Ghaout, R. Peters, and C. Piou. 2017. Self-organized spatial structures of locust groups emerging from local interaction. *Ecological Modelling* **361**:26-40.
25. Dkhili, J., K. O. Maeno, L. M. Idrissi Hassani, S. Ghaout, and C. Piou. 2019. Effects of starvation and Vegetation Distribution on Locust Collective Motion. *Journal of Insect Behavior* **32**:207-217.
26. Ellis, P. E., and C. Ashall. 1957. Field studies on diurnal behaviour, movement and aggregation in the Desert locust (*Schistocerca gregaria* Forskål). *Anti-Locust Bulletin* **25**:1-94.
27. Piou, C., G. Zagaglia, H. E. Medina, E. Trumper, X. R. Brizuela, and K. O. Maeno. 2022. Band movement and thermoregulation in *Schistocerca cancellata*. *Journal of Insect Physiology* **136**:104328.
28. Reed, T. E., R. S. Waples, D. E. Schindler, J. J. Hard, and M. T. Kinnison. 2010. Phenotypic plasticity and population viability: the importance of environmental predictability. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **277**:3391-3400.
29. Reuter, H., M. Kruse, A. Rovellini, and B. Breckling. 2016. Evolutionary trends in fish schools in heterogeneous environments. *Ecological Modelling* **326**:23-35.
30. Lihoreau, M., M. A. Charleston, A. M. Senior, F. J. Clissold, D. Raubenheimer, S. J. Simpson, and J. Buhl. 2017. Collective foraging in spatially complex nutritional environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **372**.
31. Fronhofer, E. A., H. Pasurka, O. Mitesser, and H. J. Poethke. 2011. Scarce resources, risk sensitivity, and egalitarian resource sharing. *Evolutionary Ecology Research* **13**:253-267.
32. Delay, E., and C. Piou. 2019. Mutual aid: When does resource scarcity favour group cooperation? *Ecological Complexity* **40**:100790.

Origines des illustrations

- Diapo 14:
 - Nuée (FAO <https://www.fao.org/ag/locusts/fr/activ/1307/climate/index.html>)
 - *Plague Of Locusts, Jan Luyken, Pieter Mortier* (<https://fineartamerica.com/featured/plague-of-locusts-jan-luyken-pieter-mortier-jan-luyken-and-pieter-mortier.html>)
 - Criquet pèlerin (Michel Lecoq)
- Diapo 15:
 - Solitaire – grégaire (Cirad – FAO – Jircas (origine confuse, réutilisation fréquente))
- Diapo 16 & 18:
 - CLCPRO – FAO (photos d'un cours de Michel Lecoq)
- Diapo 25 & 39:
 - Groupes de larves Koutaro Maeno, Jircas
- Autres photos, graphiques et illustrations: C. Piou avec collègues Cirad-CBGP

Parcours



 1997 - 2001 |
  2001 - 2008 |
  2008 - 2010 |
  2010 - 2013 - 2017 - maintenant







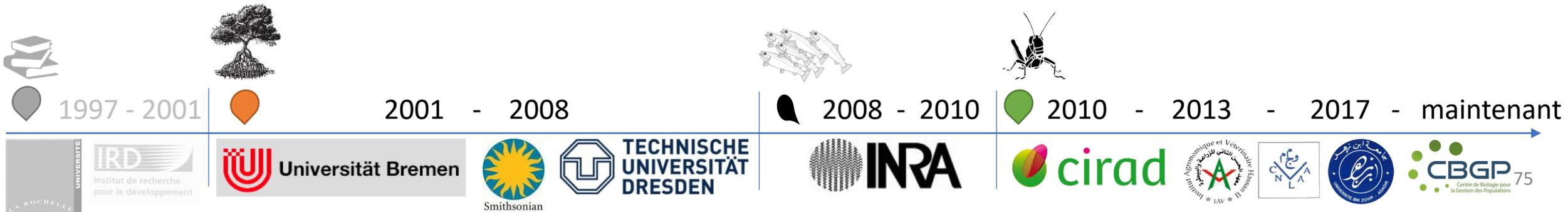






Quelques chiffres (au 1/12/2021)

- 3 co-encadrements de thèse terminées
- 3 co-encadrements de thèse en cours
- 2 encadrements de master
- 3 post-docs
- 48 articles publiés dans des revues à IF ($\bar{IF} = 3,761$)
- 60 communications scientifiques
- 9 projets financés depuis 2010 (5k€ - 540k€)



Fin des annexes